POLITECNICO DI MILANO

Facoltà di Ingegneria Industriale

Corsa di Laurea in
Ingegneria Meccanica

Sull'impiego dell'oleodinamica nella nautica da diporto: il caso del maxi yacht Wallycento Magic Carpet 3

Relatore: Prof. Fabio Vittorio FOSSATI

Correlatore: Gianni CARIBONI

Tesi di laurea di:

Cristian CASIRAGHI Matricola 784362

Anno Accademico 2013-2014

Ringraziamenti

Un ringraziamento particolare va fatto al Sig. Gianni Cariboni per avermi dato la possibilità di lavorare presso la sua azienda ed avermi messo a disposizione conoscenze, strumenti e persone indispensabili alla svolgimento del mio lavoro. Un doveroso ringraziamento va poi fatto al Professor Fabio Vittorio Fossati per la disponibilità e l'aiuto prestatomi durante lo svolgimento della tesi.
Per quanto riguarda il lavoro svolto in azienda voglio ringraziare l'intera famiglia Cariboni, nello specifico la dott.ssa Paola e la Sig.ra Mary, ed in generale tutto il personale ed i collaboratori in essa impiegati, Fabio, Erik, Lara, Galia, Daniele, Roberto sono solo alcuni. Un grosso grazie va poi a Giorgio per avermi istruito sull'arte dell'oleodinamica ed avermi fornito tutte le informazioni a lui richieste. Un ringraziamento molto speciale lo voglio fare all'ing. Pierluca per avermi sopportato ed aver risposto a tutte le mie domande con grande pazienza.
Infine voglio ringraziare la mia famiglia che mi ha sempre supportato e sopportato durante il corso dei miei studi.

Indice generale

Introduzione **17**

Capitolo 1: La barca a vela **19**

1.1 Nascita e sviluppo della vela da diporto 19

1.2 Caratteristiche principali dell'imbarcazione 20

1.2.1 Fondamenti sulla conduzione di un'imbarcazione a vela 21

1.2.2 Le attrezzature fondamentali 22

1.3 Meccanica dell'imbarcazione a vela 24

1.3.1 Il triangolo del vento 24

1.3.2 Equilibrio dinamico dell'imbarcazione a vela 25

1.3.3 Aerodinamica della vela 27

1.4 Regolazioni e carichi nell'utilizzo di un'imbarcazione a vela di grosse dimensioni 28

1.5 Conduzione dell'imbarcazione e principali manovre 30

1.5.1 Utilizzo della velatura nella conduzione dell'imbarcazione 31

1.5.2 Il caricabasso del boma 33

1.5.3 La scotta della randa e il carrello del trasto 35

1.5.4 Il tesabase 36

1.5.5 Il cunningham 37

1.5.6 I tenditori del punto di scotta delle vele di prua 39

1.5.7 Lo strallo di prua 41

1.5.8 Le sartie volanti 42

1.5.9 Il tenditore del punto di mura del gennaker 43

Capitolo 2: L'oleodinamica sulle imbarcazioni a vela **45**

2.1 L'energia su una barca a vela 45

2.2 Lo sfruttamento delle diverse fonti di energia 46

2.3 Le funzioni che richiedono energia 47

2.3.1 Il sistema di propulsione 47
2.3.2 La regolazione delle vele 49
2.3.3 Sistemi ausiliari 50
2.3.4 Generazione di energia elettrica 50
2.4 Forze e potenze in gioco 51
2.5 Differenti soluzioni 53
2.5.1 Il sistema di propulsione 53
2.5.2 Generazione energia elettrica 54
2.5.3 Regolazione dell'attrezzatura 55
2.5.4 Sistemi ausiliari 56
2.6 La scelta dell'oleodinamica 56
2.6.1 Principi di oleodinamica 57
2.6.2 L'oleodinamica sulla barca a vela 60
2.7 L'impianto oleodinamico 61
2.7.1 La pompa oleodinamica 61
2.7.2 Gli attuatori 64
2.7.3 La linea di trasmissione 66
2.7.4 Valvole di bloccaggio 69
2.7.5 Valvole regolatrici di pressione 70
2.7.6 Valvole regolatrici di portata 72
2.8 Esempio di impianto oleodinamico per imbarcazione a vela di medie dimensioni 73
Capitolo 3: L'impianto oleodinamico dell'imbarcazione Wally 100' Magic Carpet Cubed 75
3.1 La classe WallyCento 75
3.1.1 Regole di costruzione generali 75
3.1.2 Regole che hanno coinvolto il progetto dell'impianto oleodinamico 76
3.2 Caratteristiche generali Magic Carpet Cubed 77
3.3 Obiettivi dell'impianto 79

3.4 Funzionalità dell'impianto 79
3.4.1 Funzioni veliche 81
3.4.2 Propulsione 96
3.4.3 Generazione energia elettrica 102
3.4.4 Funzioni ausiliarie 105
3.5 L'impianto oleodinamico nel suo complesso 118
3.5.1 Le fonti di potenza 119
3.5.2 Principi di funzionamento 121
3.5.3 Circuiti load sensing 126
3.6 Efficienza dell'impianto 127
Capitolo 4: Funzionamento e gestione dell'impianto 131
4.1 Descrizione del funzionamento 131
4.2 Gestione del sistema 133
4.3 Importanza del manuale utente 135
4.4 Modalità di funzionamento 136
4.4.1 Modalità propulsiva 137
4.4.2 Modalità regata 138
4.4.3 Modalità intermedia regata-crociera 139
4.4.4 Modalità elettrica 139
4.4.5 Modalità emergenza 140
4.5 Il controllore a logica programmabile 140
Capitolo 5: Le sartie volanti 153
5.1 Descrizione delle manovre 153
5.2 Descrizione funzionamento impianto oleodinamico 155
5.3 Descrizione logica di controllo 159
Capitolo 6: Il manuale di gestione dell'impianto 163
6.1 Redazione del manuale 163
6.2 Struttura del manuale 164

6.2.1 Elenco articoli 165
6.2.2 Panoramica sistema 167
6.2.3 Impianto idraulico 168
6.2.4 Pulsantiere 169
6.2.5 Impianto elettrico 170
6.2.6 Plc e logica di funzionamento 172
6.2.7 Allegati 174
Conclusioni 175
Allegati 177
Bibliografia 181

Elenco delle figure

1.1. Parti principali dell'imbarcazione a vela. 21
1.2. Differenti andature. La freccia in alto indica la direzione di provenienza del vento. 22
1.3. Piano velico di un'imbarcazione di tipo sloop. 23
1.4. Triangolo del vento. 25
1.5. Forze agenti sull'imbarcazione durante la navigazione in condizioni di equilibrio. 26
1.6. Forze generate dall'interazione tra vela e vento. 28
1.7. Particolare del caricabasso del boma con indicazione forza da esso applicata. 35
1.8. Particolare scotta della randa e carrello del trasto con indicazione delle forze applicate. 36
1.9. Particolari delle forze applicate dalle manovre correnti sulla parte inferiore della randa. A sinistra forza di trazione (F_1) applicata dal tesabase, a destra forza di trazione (F_2) applicata dal cunningham. I dispositivi non sono visibili nelle fotografie in quanto posizionati all'interno del boma o sotto la coperta e funzionanti tramite un meccanismo di rinvii. 38
1.10. Schema funzionamento delle manovre di regolazione della vela di prua. In alto regolazione della base della vela, al centro regolazione della balumina della vela, in basso ingrandimento della manovra di regolazione della distanza fra la vela e l'asse di mezzeria della barca. 40
1.11. Particolare delle manovre di regolazione della scotta del fiocco con indicazione delle forze applicate. 41
1.12. Indicazione delle forze esercitate dalle manovre di regolazione dell'albero. In rosso forza esercitata dallo strallo di prua, in verde forza esercitata dalla sartia volante che si trova sul lato dell'imbarcazione da cui proviene il vento (nella condizione di figura la sartia volante di sinistra viene messa in tensione mentre quella di destra viene lascata). 43
1.13. Particolari del punto di mura del gennaker e del secondo strallo con indicazione delle forze esercitate dalle manovre di regolazione. 44
2.1. Resistenza idrostatica in funzione della velocità di avanzamento relativa all'imbarcazione Wally 100' Magic Carpet Cubed in assenza di sbandamento. 48

2.2. Due esempi di attrezzatura per imbarcazione a vela: a sinistra cilindro oleodinamico, a destra verricello elettrico. 49
2.3. Treno di trasmissione della potenza per un classico sistema di propulsione. . 52
2.4. Leva idraulica a sinistra. Torchio idraulico a destra. 57
2.5. Cilindro a singolo effetto per mettere in tensione la base della randa. 66
2.6. Simboli di valvole di non ritorno: da sinistra a destra valvola semplice (senza e con molla) e valvola sbloccabile. 69
2.7. A sinistra schema valvola limitatrice ad azione diretta con otturatore a cono, a destra simboli grafici. 70
2.8. Schema valvola di strozzamento 72
e ritegno. 72
2.9. Schema di impianto oleodinamico per imbarcazione a vela di tipo crociera veloce con lunghezza intorno ai 20 metri. 73
2.10. Esempio di pulsantiera fornita dall'azienda Cariboni Srl. 74
3.1. Magic Carpet Cubed durante una regata nel mar Mediterraneo. 78
3.2. Meccanismi di controllo di alcune delle manovre che equipaggiano l'imbarcazione. In particolare: tesabase (1), cunningham della randa (2), regolatore del punto di mura del gennaker (3), controllore della tensione del secondo strallo (4). 83
3.3. Particolari delle manovre di regolazione del punto di scotta del fiocco (1), (2) e del carrello del trasto (7). 84
3.4. Particolare del deflettore e meccanismo di funzionamento della manovra. .. 86
3.5. Particolari del caricabasso del boma e del sistema di avvolgimento del fiocco (6). 88
3.6. Cilindro MagicDouble per tesare la scotta della randa con schematizzazione del percorso effettuato dalla cima. Si vedono le due configurazioni: completamente "chiuso" (1) e completamente "aperto" (2). 90
3.7. Particolari dei meccanismi di comando delle scotta della randa (1) e delle sartie volanti (2). 92
3.8. Particolare della culatta di un cilindro oleodinamico doppio con rappresentazione della cima vincolata al suo punto fisso. 93
3.9. Particolare di un verricello oleodinamico con rappresentazione dei tubi di passaggio dell'olio. Nell'immagine si distinguono il tamburo (1), il motore oleodinamico (2), la linea di alimentazione (3), la linea di scarico (4) (invertibile con la (3) per cambiare il senso di rotazione del sistema) e la linea di drenaggio (5) dell'olio. 95
3.10. Diagramma forza resistente in funzione della velocità della barca per differenti condizioni. 96

3.11. Diagramma della potenza effettiva in funzione della velocità dell'imbarcazione. 97
3.12. Skeg mobile contenente l'asse dell'elica. Sulla destra le due configurazioni: completamente sollevato durante la navigazione a vela e completamente abbassato durante l'utilizzo del sistema propulsivo. 100
3.13. Componenti del sistema propulsivo e flusso di potenza. Si distinguono nell'ordine: motore endotermico (1), pompa oleodinamica (2), distributore (3), motore oleodinamico (4), giunto di collegamento e albero di trasmissione (5), elica (6). 102
3.14. Flusso della potenza nel sistema di generazione dell'energia elettrica. 104
3.15. Alternatore secondario collegato al motore endotermico principale. 105
3.16. Esempio di portellone di poppa installato su un Solaris 48'. 106
3.17. Particolare della pala del timone destra in condizioni di barca sbandata. Si nota la quasi totale emersione del componente. 107
3.18. Schematizzazione del sistema di governo dell'imbarcazione. I componenti principali sono: le ruote del timone (1 e 2), i settori (3 e 4), i frenelli (6 e 7), la barra di accoppiamento (5), le pale (8 e 9). 108
3.19. Indicazione delle forze agenti sull'imbarcazione in condizione di equilibrio statico (1) ed in condizione di moto a regime (2). 110
3.20. Sistema di generazione flusso ad alta pressione nell'impianto di dissalazione. Schematizzazione dei flussi di olio e acqua. 112
3.21. Andamento della temperatura dell'olio in un impianto nelle varie fasi di funzionamento al variare del tempo. Le curve da A a F si riferiscono a valori crescenti della potenza termica immessa. 114
3.22. Schematizzazione impianto di raffreddamento dell'olio ad acqua di mare.. 116
3.23. Ventilatore sala macchine. 118
3.24. Disposizione componenti all'interno della sala macchine. Partendo dalla parte più a prua è possibile distinguere: motore endotermico principale (1), pompa dell'acqua (2), scambiatore di calore (3), alternatore (4), serbatoio (5), motore endotermico secondario e struttura di supporto (6), contenitore skeg (7).. 121
3.25. Schema semplificato di impianto nelle modalità di funzionamento regata e regata-crociera. 122
3.26. Schema semplificato di impianto in modalità di funzionamento emergenza. 124
3.27. Schema semplificato di impianto in modalità di funzionamento elettrica. .. 125
4.1. Rappresentazione del collegamento fra pulsantiera, plc e valvola a frutto.. 132
4.2. Rappresentazione del collegamento fra il controllore a logica programmabile, adattatore e moduli delle espansioni. 143

4.3. Esempio di cassetta con indicazione dei componenti presenti. 145
5.1. Dispositivo di comando della sartia volante destra. 154
5.2. Schema delle pompe oleodinamiche connesse al motore endotermico principale. 156
5.3. Schema distributore linea in “bassa pressione”. 157
5.4. Schema collettori di distribuzione e cilindro doppio a doppio effetto. 158
6.1. Estratto di una pagina del primo capitolo del manuale. Come esempio sono state messe in evidenza le informazioni relative ad un articolo, nello specifico il gruppo di generazione dell’energia elettrica. Per ciascuno vengono indicati il codice identificativo, il nome completo del modello e l’elenco dei componenti d’acquisto con i relativi codici di prodotto. 166
6.2. Elenco dei tubi di mandata dell’olio verso i distributori. Come esempio sono state messe in evidenza le informazioni relative al tubo di collegamento fra la pompa a pistoni assiali comandata dal motore endotermico principale ed il distributore della linea in “bassa pressione”. Nello specifico vengono indicati: numero identificativo del tubo, componenti di collegamento, diametro in pollici, lunghezza in millimetri, geometria dei raccordi, diametro e tipo di filettatura, nome del costruttore. 167
6.3. Esempi di pagine dei capitoli tre e quattro del manuale. 168
6.4. Alcuni dei pannelli contenti i pulsanti di comando del sistema. 169
6.5. Esempi di pagine del sesto capitolo del manuale. Collegamenti elettrici di un distributore. 170
6.6. Esempi di pagine del sesto capitolo del manuale. Collegamenti elettrici della cassetta posizionata alla base dell’albero. 171
6.7. Esempi di pagine del capitolo sei del manuale. Elenco segnali di controllo.. 171
6.8. Esempi di pagine del capitolo sette del manuale. Funzionamento sistema.. 173
6.9. Esempi di pagine del capitolo sette del manuale. Interfaccia utente plc..... 173

Elenco delle tabelle

1.1. Carichi agenti sulle manovre espressi in newton. 30
3.1. Caratteristiche dimensionali Magic Carpet Cubed. 78
3.2. Diametro camera e corsa pistone dei cilindri a singolo effetto. 81
3.3. Diametro stelo e carico di snervamento dei cilindri a singolo effetto. 81
3.4. Massa a secco e volume d'olio alla massima estensione per cilindri a singolo effetto. 82
3.5. Caratteristiche principali carrello della randa. 85
3.6. Principali caratteristiche relative al cilindro caricabasso del boma. 87
3.7. Caratteristiche principali avvolgifiocco 88
3.8. Caratteristiche delle manovre integrate nel sistema di avvolgimento del fiocco. 88
3.9. Principali dimensioni del cilindro della randa e dei cilindri delle sartie volanti. 90
3.10. Caratteristiche prestazionali e masse del cilindro della randa e dei cilindri delle sartie volanti. 91
3.11. Volumi d'olio del cilindro della randa e dei cilindri delle sartie volanti. 91
3.12. Principali caratteristiche motore idraulico verricelli. 95
3.13. Principali caratteristiche relative al sistema di propulsione. 101
3.14. Principali caratteristiche del cilindro di sollevamento del sistema propulsivo. 101
3.15. Cilindrata macchine oleodinamiche relative al sistema di generazione dell'energia elettrica. 104
3.16. Principali caratteristiche del cilindro di sollevamento del portellone di poppa. 106
3.17. Principali caratteristiche cilindro della timoneria. 109
4.1. Tipologie sensori di misura e quantità presenti nell'impianto. 134
5.1. Principali caratteristiche relative alle sartie volanti. 155
5.2. Segnali gestiti dall'unità centrale di controllo durante la fase di apertura del cilindro. 160
5.3. Segnali gestiti dall'unità centrale di controllo durante la fase di chiusura del cilindro. 161

Sommario

L'oleodinamica è una delle tecniche di trasmissione della potenza più diffuse ed affermate. Questa tecnologia, decisamente moderna ed in continua espansione, si basa su un principio fisico enunciato dal fisico e matematico francese Blaise Pascal (1623-1662) secondo cui in un liquido incomprimibile in equilibrio la pressione si trasmette ugualmente in ogni direzione, esercita forze uguali su aree uguali, ed è indipendente dalla natura del liquido e dalla forma del recipiente.
Tra le molteplici applicazioni di questa tecnologia spicca il mondo della vela. Dalla Coppa America alla grandi imbarcazioni a vela da diporto l'oleodinamica offre una serie di vantaggi che la rendono sempre più apprezzata dai progettisti degli equipaggiamenti di bordo.
Una barca a vela è un "oggetto" complicato, specie se di ingenti dimensioni, la sua progettazione e realizzazione richiede un gran numero di ore di lavoro da parte di personale altamente qualificato, l'aggiunta di un impianto oleodinamico contribuisce ad aumentare la complicazione del progetto.
Durante le fasi di progettazione, realizzazione e collaudo nasce dunque la necessità di raccogliere tutte le informazioni relative ai sistemi in questione per renderle facilmente disponibili e consultabili ai tecnici coinvolti nel progetto, nonché agli utenti finali dell'impianto. La redazioni accurata di un manuale diventa un aspetto fondamentale, permette una semplificazione degli interventi manutentivi, una semplificazione della sua gestione, del suo controllo ed un elemento indispensabile in caso di problemi di funzionamento. Il manuale diventa dunque uno strumento di sintesi dell'intero progetto contribuendo all'ottimo funzionamento del sistema nel corso della sua vita operativa.

Parole chiave: imbarcazione a vela, manovre correnti, oleodinamica, regolazioni, manuale operativo.

Abstract

The hydraulic is one of the techniques of power transmission most widespread and well established. This technology is very modern and growing , is based on a physical principle enunciated by French physicist and mathematician Blaise Pascal (1623-1662). In an incompressible liquid in equilibrium pressure is transmitted equally in all directions, exerts equal forces on equal areas , and is independent of the nature of the liquid and the shape of the container .

Among the many applications of this technology stands out sailing boats. From the America's Cup to the large sailboats hydraulics offers a number of advantages increasingly appreciated by the sailboats designers.

A sailboat is an "object" complicated, especially of large size, its design and construction requires a large number of hours of work by highly qualified personnel, the addition of a hydraulic system helps to increase the complication of the project.

During the early stages of design, implementation and testing it’s important to collect all the information related to these systems to make them easily available and accessible to technicians involved in the project, and users of the system. The drafting of a manual becomes a fundamental aspect, allows a simplification of maintenance, management, control and is essential in case of operating problems. The manual becomes a synthesis elements of the entire project contributing to the operation of the system during its operational life.

Key words: sailboat, running rigging, hydraulic, adjustments, operating instructions.

Introduzione

Il presente lavoro è parte integrante del progetto e della realizzazione di un impianto elettro-oleodinamico destinato ad essere installato su un'imbarcazione da diporto di tipo fast cruiser. Si tratta di imbarcazioni a vela la cui propulsione è affidata principalmente al vento, ma comunque equipaggiate con un motore da utilizzare in condizioni di bonaccia e per manovrare in porto. Pur essendo estremamente veloci, queste imbarcazioni sono dotate di ogni genere di servizio che le rende adatte alle attività di crociera. Inoltre, per massimizzare le prestazioni durante le regate, alcuni componenti vengono in genere smontati permettendo di diminuire le masse e di conseguenza rendere la barca più competitiva.
L'intero impianto è stato concepito, progettato, realizzato ed installato dall'azienda Cariboni Srl, altamente specializzata in campo oleodinamico e sulle attrezzature nautiche.
Scopo del lavoro è stato quello di prendere parte a tutte le fasi di collaudo dell'impianto e realizzare un manuale operativo dell'intero sistema, strumento indispensabile ai tecnici dell'azienda (ingegneri, addetti ai collaudi ed all'installazione) nonché agli utenti finali quali i membri dell'equipaggio della barca.
Ciò ha richiesto un'analisi attenta dell'intero sistema, del suo funzionamento, della sua gestione e del suo controllo. Di fondamentale importanza è stata la collaborazione con progettisti e tecnici che hanno contribuito alla sua realizzazione, soprattutto durante le fasi di collaudo. Questo ha permesso una migliore comprensione dell'intero sistema, dei motivi che hanno portato all'effettuazione delle scelte progettuali, dei problemi affiorati durante le prove e delle relative modifiche e soluzioni apportate.
Il contenuto del lavoro è stato organizzato in sei capitoli, cercando di esporre nella maniera più chiara e logica possibile tutte le informazioni relative all'impianto ed al contributo apportato.
Nel primo capitolo vengono esposte le principali caratteristiche relative ad un'imbarcazione a vela, al suo funzionamento, alla natura delle manovre e delle regolazioni necessarie al suo governo e controllo. Queste informazioni sono indispensabili per la comprensione di quanto esposto nei capitoli successivi.
Nel secondo capitolo vengono presentate le potenzialità offerte dall'oleodinamica in merito al suo sfruttamento a bordo di questo tipo di imbarcazioni. Questo consente di comprendere la natura delle scelte che hanno portato alla realizzazione dell'impianto in oggetto.

Nel terzo capitolo viene riportata una descrizione dettagliata dell'impianto, focalizzandosi sulle sue caratteristiche, sulle sue funzioni, sui vantaggi offerti e sulle sue peculiarità e singolarità.
Nel capitolo quattro si passa ad una descrizione dettagliata del sistema di controllo e comando di tutte le funzioni, nello specifico un controllore a logica programmabile specificatamente programmato per gestire l'impianto in questione.
Nel capitolo cinque vengono riportati i dettagli del funzionamento di una specifica funzione dell'impianto dedicata al controllo di una manovra di cui la barca è equipaggiata. Ciò consente una comprensione più dettagliata dei principi e delle logiche che stanno alla base del funzionamento di questo tipo di sistemi.
Nel capitolo sei è riportata una descrizione sommaria del manuale dell'impianto sviluppato nel presente lavoro di tesi. Come precedentemente esposto la sua redazione ha richiesto un'analisi dettagliata dell'intero sistema specie nelle fasi di collaudo su banco ed ha aperto spazio ad approfondimenti su ogni suo aspetto.
Infine nelle conclusioni vengono ripercorsi i punti salienti del lavoro svolto focalizzandosi sui contributi apportati all'intero progetto.

Capitolo 1

La barca a vela

In questo capitolo verranno esposte le principali caratteristiche di un'imbarcazione a vela, le sue andature, le forze che nascono dall'interazione dei suoi organi con il vento. Questo è indispensabile per comprendere la natura delle regolazioni che l'equipaggio della barca deve effettuare nelle diverse condizioni che si presentano, e capire l'importanza dell'impianto e delle sue caratteristiche esposte nei capitoli successivi.

1.1 Nascita e sviluppo della vela da diporto

La navigazione a vela divenne uno sport per persone facoltose alla fine del XIX secolo, nel momento in cui vapore e gasolio stavano rendendo superfluo l'utilizzo delle vele, sia per uso commerciale sia navale.
Il 22 agosto 1851 fu organizzata una regata storica intorno all'Isola di Wright, al largo della costa meridionale dell'Inghilterra, a cui parteciparono sedici yacht. In palio vi era la Hundred Guinea Cup del Royal Yacht Squadron, realizzata dal londinese Garrard. Il nome fu poi cambiato in Coppa America, in onore della goletta vincitrice America: fu l'inizio delle competizioni internazionali di yacht così come le conosciamo oggi.
Dopo quegli inizi, le persone più agiate hanno continuato a praticare questo sport, prendendo parte a gare come l'Antigua Race Week, la Coppa Aga Kham, che si teneva a Porto Cervo, o la Regata Nioulargue per yacht d'epoca a Saint Tropez. Allo stesso tempo, però, lo sviluppo di barche più piccole ed accessibili ad un gran numero di persone ha permesso una grande diffusione di questo sport su scala mondiale.
Per comprendere meglio cosa si intende per navigazione da diporto si può sfruttare la definizione riportata sul sito della Guardia Costiera Italiana: "la navigazione da diporto è quella effettuata a scopi sportivi o ricreativi dai quali esuli il fine di lucro, le unità destinate a tale navigazione si distinguono in: navi, imbarcazioni e natanti". Tuttavia il Codice della Nautica da Diporto prevede che talune unità possano essere utilizzate per fini commerciali (ad esempio attività di locazione e noleggio, insegnamento professionale della navigazione da diporto, eccetera).

1.2 Caratteristiche principali dell'imbarcazione

In qualsiasi imbarcazione dotata di qualsivoglia tipo di velatura l'equipaggio deve apportare continue regolazioni atte ad ottimizzare le caratteristiche delle vele alle mutevoli condizioni di navigazione.
Naturalmente data la vastissima varietà di tipologie di imbarcazioni che si contraddistinguono per dimensioni, caratteristiche, tipologie costruttive e complicazioni estremamente differenti, ne risulta un'altrettanta varietà di parametri da controllare tramite sistemi diversi. Nel seguente capitolo vengono perciò descritte le regolazioni relative alle manovre correnti (attrezzature dedicate alle regolazioni durante le operazioni di manovra) relative ad una moderna imbarcazione di tipo regata/crociera, la quale verrà descritta più approfonditamente nel seguito.
Un'imbarcazione a vela di qualsiasi tipo e misura è composta da tre parti fondamentali: lo scafo, la velatura ed il timone.
Lo scafo è l'elemento che genera il sostentamento e la galleggiabilità per l'equipaggio e per le cose trasportate. Esso viene concettualmente diviso in due parti in base alla posizione relativa rispetto al pelo libero dell'acqua, che definisce la linea di galleggiamento. L'opera viva o carena è la parte dello scafo che si trova al di sotto del pelo dell'acqua, essa genera continuamente spinte verso l'alto in proporzione al volume di liquido spostato. L'opera morta o bordo libero è invece costituita dalla parte di scafo che si trova al di sopra del pelo dell'acqua e non contribuisce costantemente all'equilibrio dell'imbarcazione.
La velatura è l'elemento che genera la propulsione, ne esistono innumerevoli tipologie, per le nostre analisi ci si riferirà sempre ad un velatura di tipo Marconi (figura 1.1.).
Infine il timone, mezzo di governo indispensabile per condurre l'imbarcazione e fondamentale per il funzionamento sinergico dell'insieme barca, vento, acqua.
Entrando maggiormente nel dettaglio si possono definire dei sotto-componenti dello scafo e delle manovre che costituiscono l'attrezzatura, distinguendo tra le manovre correnti (che servono ad alzare e manovrare le vele e a regolare l'albero) e le manovre fisse, ovvero le parti che sostengono l'albero della barca. Di queste ultime fanno parte le sartie, lo strallo di prua e lo strallo di poppa o paterazzo. All'albero sono fissate le crocette e la trozza del boma, su di esso viene poi inferita la randa. Per quanto riguarda le manovre correnti, fanno parte di questa categoria le drizze per alzare ed ammainare le vele, le scotte per regolarle ed il caricabasso del boma che ne impedisce il suo innalzamento.

La parte aperta della barca, dove solitamente si trovano i verricelli ed il timone, prende il nome di pozzetto, durante la navigazione normale l'equipaggio sta al suo interno.
Nel capitolo ci si riferirà sempre ad un'imbarcazione di tipo dislocante, in cui la capacità di raddrizzarsi e di tornare nella posizione verticale, una volta che essa si trova sbandata per effetto del vento che agisce sulle vele, non è legata al peso dell'equipaggio ma è affidata alla presenza di una chiglia dotata di zavorra.

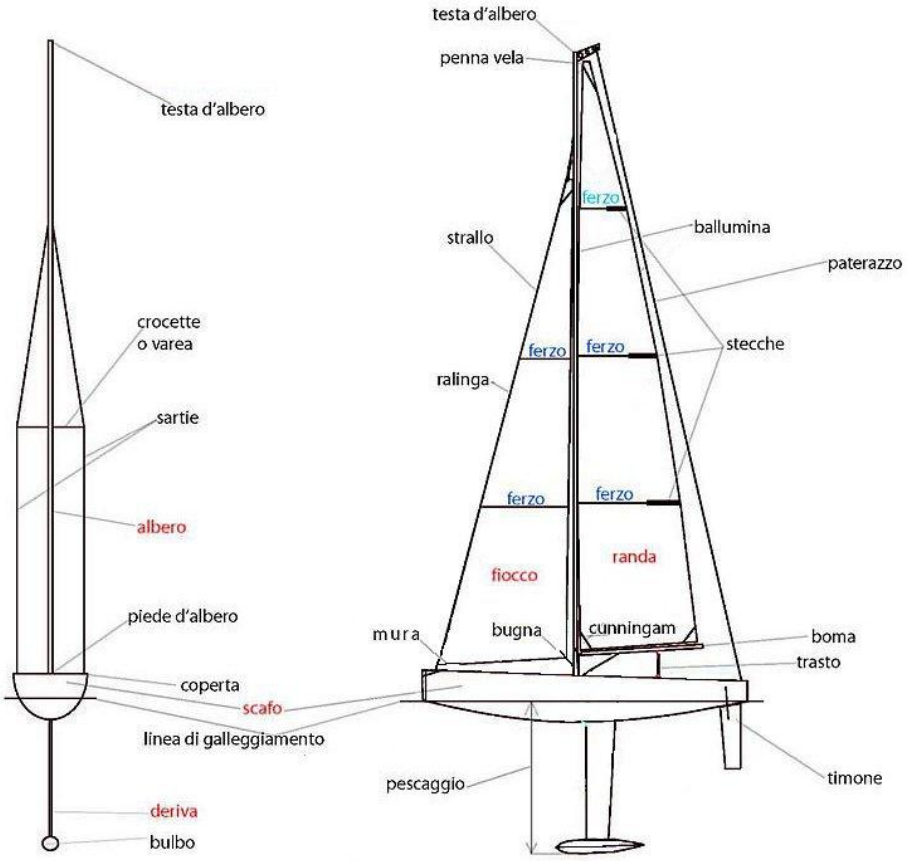


Figura 1.1. Parti principali dell'imbarcazione a vela.

1.2.1 Fondamenti sulla conduzione di un'imbarcazione a vela

Per andatura di un'imbarcazione a vela si intende l'angolazione che esiste tra la direzione lungo la quale la barca procede e la direzione da cui proviene il vento. Una barca a vela può avere qualunque andatura ma non può navigare controvento: più precisamente esiste tutto un intervallo di angoli che costituiscono il cosiddetto settore

di bordeggio all'interno del quale l'equipaggio dell'imbarcazione non può pensare di navigare. A ciascuna andatura corrisponde una diversa regolazione delle vele ed un comportamento diverso della barca. La regolazione fondamentale consiste nel fatto che cambiando la propria rotta e passando da un'andatura ad un'altra occorre variare la posizione delle vele intervenendo sulle manovre. Ogni andatura richiede infatti una diversa esposizione delle vele, la cui regolazione è influenzata anche dall'intensità del vento e dallo stato del mare.

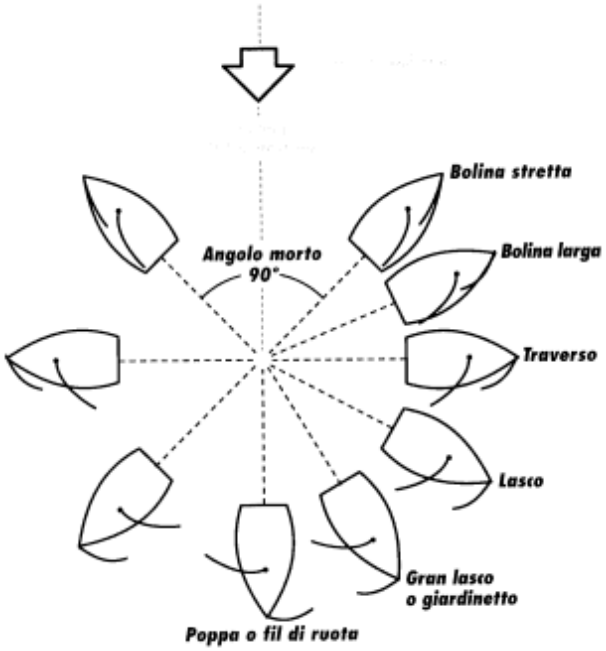


Figura 1.2. Differenti andature. La freccia in alto indica la direzione di provenienza del vento.

1.2.2 Le attrezzature fondamentali

La prima caratteristica dalla quale si identifica un'imbarcazione a vela è l'attrezzatura (o armamento), ovvero l'insieme di antenne, cavi e vele. Vista l'ampia gamma di tipologie esistenti non ci si addentrerà in una loro completa descrizione, ma ci si limiterà a descrivere la tipologia della barca in questione, vale a dire uno sloop. Si tratta di imbarcazioni a vela con un solo albero posizionato circa a centro barca, e dotate di uno strallo di prua al quale viene inferito il fiocco che, insieme alla randa, costituisce al velatura. L'albero è sostenuto da sartie e stralli, questi possono arrivare al suo estremo superiore (si parli in questi casi di armamento in testa d'albero), oppure ad una certa quota (si parla in questi casi di armamento frazionato).

L'insieme delle vele che una barca utilizza in relazione alle condizioni di vento e di mare prende il nome di piano velico. Le vele possono essere classificate in tre categorie, in base a come vengono inferite. Le vele di strallo appartengono alla prima categoria, esse sono posizionate a proravia dell'albero e sono costituite essenzialmente dai fiocchi. Le vele inferite su antenne appartengono alla seconda categoria di cui fanno parte le rande e le vele da tempesta. Infine alla terza categoria appartengono le vele ad inferitura libera, quali gli spinnaker e i gennaker.
Le rande bermudiane vengono inferite sino in testa l'albero, sono di forma essenzialmente triangolare con il lato di inferitura lungo e la base più corta. La sua posizione relativa rispetto all'asse dell'imbarcazione è comandata dallo spostamento del boma, una trave orizzontale a cui la base della randa è vincolata, collegata all'albero tramite uno snodo. Questa vela è facile da maneggiare e ha grande efficienza. Occorre una sola drizza per alzarla e ammainarla. Presenta un certo allunamento per ragioni di efficienza aerodinamica, garantito dalla presenza di una serie di stecche nella sua parte superiore. Questo tipo di imbarcazioni sono equipaggiate con una sola randa la cui estensione può essere modificata riducendo la lunghezza dell'inferitura.

Figura 1.3. Piano velico di un'imbarcazione di tipo sloop.

Per quanto riguarda le vele di prua, ogni imbarcazione è equipaggiata con una serie di fiocchi con differenti dimensioni e caratteristiche i quali possono essere issati o ammainati dall'equipaggio in base alle condizioni di navigazione. La serie di fiocchi parte dalla vela con superficie massima e tessuto più leggere, per passare via via a vele più piccole e di maggiore robustezza fino a raggiungere il fiocco da tempesta, il quale

presenta le minori dimensioni ma la maggiore robustezza. La sostituzione delle vele permette di diminuire la superficie di tessuto esposta al vento quando esso aumenta di intensità in modo da ridurre la forza sbandante senza diminuire la spinta propulsiva. La spinta del vento è infatti proporzionale al quadrato della sua velocità, ne consegue che se il vento raddoppia la sua velocità la superficie della vela dovrà essere ridotta di un quarto. Sempre allo scopo di ridurre la forza sbandante, le vele che vengono armate all'aumento di intensità del vento, oltre ad essere più piccole, sono anche più basse in modo da abbassare il centro velico[(1)] e ridurre la coppia sbandante più di quanto venga ridotta la spinta propulsiva.

1.3 Meccanica dell'imbarcazione a vela

L'imbarcazione a vela interagisce contemporaneamente con due fluidi (aria ed acqua) attraverso le forze del vento e del mare. Ogni barca è composta da componenti strettamente interconnessi (lo scafo, le vele, le appendici di carena, le manovre) e le prestazioni globali del sistema non possono essere determinate dalle prestazioni di una qualsiasi delle sue parti considerata singolarmente.
Nella navigazione a vela tutte le forze che governano il moto di un'imbarcazione sono dovute al movimento relativo tra la barca stessa ed i fluidi che la circondano. Le forze aerodinamiche che agiscono sulla velatura spingono l'imbarcazione che nella sua parte immersa interagisce con l'acqua tramite una pinna di deriva con profilo ad alta efficienza in grado di produrre una forza idrodinamica opposta alla precedente.
Mediante la regolazione delle vele e l'azione del timone la barca può essere mantenuta lungo una data rotta. Il comportamento dell'imbarcazione può essere interpretato attraverso un equilibrio che si viene ad instaurare tra le forze in questi due elementi (aria e acqua).

1.3.1 Il triangolo del vento

Per effetto del movimento dell'imbarcazione bisogna fare una distinzione tra vento reale, che è quello che si misura da un punto fisso, e vento apparente, che è quello a cui è soggetta l'imbarcazione in movimento. Facendo riferimento alla figura 1.4 detta V_B la velocità della barca, un osservatore che si trovasse su di essa percepirebbe un vento provocato dalla sua corsa con velocità pari a - V_B . Aggiungendo a questa situazione la presenza di un vento reale di direzione ed intensità pari a V_T , lo stesso osservatore che si trova sull'imbarcazione si troverebbe soggetto ad un vento

(1) E' il punto dove si applica la risultante di tutte le forze propulsive.

apparente di direzione e velocità pari a V_A che si ottiene dalla somma vettoriale di V_T e $-V_B$.

$$\vec{V}_A = \vec{V}_T + (-\vec{V}_B)$$

Questa somma vettoriale dà origine al cosiddetto triangolo delle velocità del vento.
Con riferimento alla medesima figura si definiscono anche l'angolo al vento apparente β_{AW} e l'angolo al vento reale γ_{TW}. Il primo è l'angolo compreso tra la direzione del vento apparente V_A e la direzione della velocità della barca V_B ; il secondo è invece l'angolo compreso tra la direzione del vento reale V_T e la direzione della velocità della barca V_B.

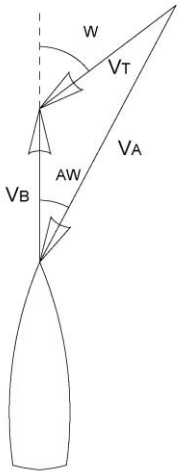


Figura 1.4. Triangolo del vento.

1.3.2 Equilibrio dinamico dell'imbarcazione a vela

Come detto in precedenza la barca naviga parzialmente immersa in acqua e per la restante parte immersa in aria: su di essa si manifestano quindi le forze idrodinamiche e le forze aerodinamiche. Tutte le forze vengono considerate applicate ad un medesimo punto, posto nell'origine del sistema di riferimento come mostrato in figura 1.5. L'azione del vento apparente V_A su tutta la parte emersa della barca (scafo, attrezzature e vele) provoca la nascita di una forza aerodinamica F_A. Questa forza, grazie alla particolare conformazione delle vele, è tale da avere una notevole componente in direzione perpendicolare a quella di provenienza del vento, detta

portanza aerodinamica, ed una componente più piccola con la stessa direzione del vento detta resistenza aerodinamica.
La forza aerodinamica F_A sviluppata dalla parte emersa non è diretta nella medesima direzione della velocità della barca V_B; essa può essere scomposta in una forza motrice F_M diretta lungo la direzione di spostamento della barca a responsabile del suo avanzamento, ed in una forza sbandante F_H ad essa perpendicolare che tende a spingere lateralmente l'imbarcazione facendola navigare non nella direzione del proprio asse ma lungo una direzione leggermente inclinata di un angolo λ detto angolo di scarroccio.
Anche le appendici svolgono un ruolo analogo a quello delle vele. La pinna di deriva, il timone e l'opera viva si ritrovano investite da un flusso inclinato di λ rispetto al piano di simmetria longitudinale dello scafo e si comportano come se fossero delle ali. Il risultato è la generazione di una forza idrodinamica F_I con stessa direzione della forza aerodinamica ma con verso opposto. Scomponendo questa forza nelle due direzioni appena citate si ottengono una forza di resistenza idrodinamica R_I ed una forza di portanza idrodinamica P_I. In condizioni di equilibrio le forze risultano perfettamente bilanciate e l'imbarcazione naviga a velocità costante.

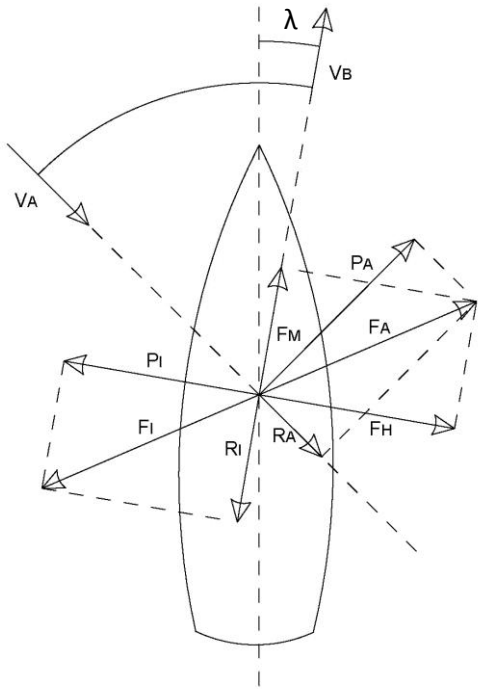


Figura 1.5. Forze agenti sull'imbarcazione durante la navigazione in condizioni di equilibrio.

1.3.3 Aerodinamica della vela

Si può asserire che quando una vela deflette un flusso d'aria incidente si crea una zona di debole sovrapressione sulla parte investita dal vento ed una zona di depressioni decisamente più consistente nella parte sua parte opposta. L'effetto della distribuzione di pressione può essere ridotto ad un'unica forza aerodinamica applicata nel centro velico. Le vele si trovano ad essere impiegate con angoli di incidenza che possono variare all'interno di un intervallo relativamente ampio. Nelle andature di bolina (figura 1.2) dove lo scopo è quello di produrre la maggior portanza possibile si utilizzano angoli di incidenza piuttosto ridotti, mentre man mano che si va verso le andature più larghe il compito della vela si modifica nel senso che lo scopo diviene quello di produrre la maggior forza aerodinamica possibile pur incrementando la componente di resistenza. Si comprende dunque come il problema più importante sia quello di regolare le vele in modo adeguato per massimizzare la componente della forza aerodinamica nella direzione del moto, ovvero la forza motrice. Si può inoltre affermare come non abbia senso avere vele che producano un'elevata portanza in assoluto in quanto al crescere della portanza cresce anche la resistenza.
Per quanto riguarda le andature di bolina ciò che interessa è invece l'ottenimento del massimo rapporto fra portanza e resistenza. Il modo principale per ottenere portanza è quello i incrementare l'angolo di incidenza, che nel caso specifico della vela rappresenta l'angolo compreso tra la direzione del vento apparente e la corda della vela stessa, ossia la congiungente il bordo di ingresso con quello di uscita. Per variare questo angolo esistono due possibilità. La prima prevede un cambiamento di rotta della barca in modo da allontanare la prua dalla direzione di provenienza del vento. La seconda consiste nell'intervenire sulla regolazione delle manovre mantenendo la rotta incrementando la tensione sulla vela in modo da modificare la direzione individuata dalla sua corda.
Un ulteriore modo per aumentare la portanza della vela è quello di aumentare la sua curvatura. In questo modo si cerca di far seguire alle linee di flusso dell'aria una traiettoria quanto più favorevole in modo da impedire i fenomeni di distacco dalla vela con conseguente riduzione della portanza. Inoltre bisogna sottolineare che il vento apparente subisce delle variazioni con la quota in quanto il vento reale è soggetto ad un gradiente con l'altezza dal pelo libero a causa degli effetti di strato limite che si generano sulla superficie libera del mare.
Tutte queste considerazioni fanno capire come il moto dell'imbarcazione sia influenzato da un gran numero di fattori, che l'equipaggio deve continuamente monitorare e mantenere sotto controllo. Da ciò nasce la necessità di dotare la barca di una serie di dispositivi (le manovre) che consentano alle persone che si trovano a

bordo di essa di apportare una serie di continue regolazioni e aggiustamenti indispensabili a governare l'imbarcazione in condizioni di massima sicurezza nell'inseguimento delle massime prestazioni ottenibili.

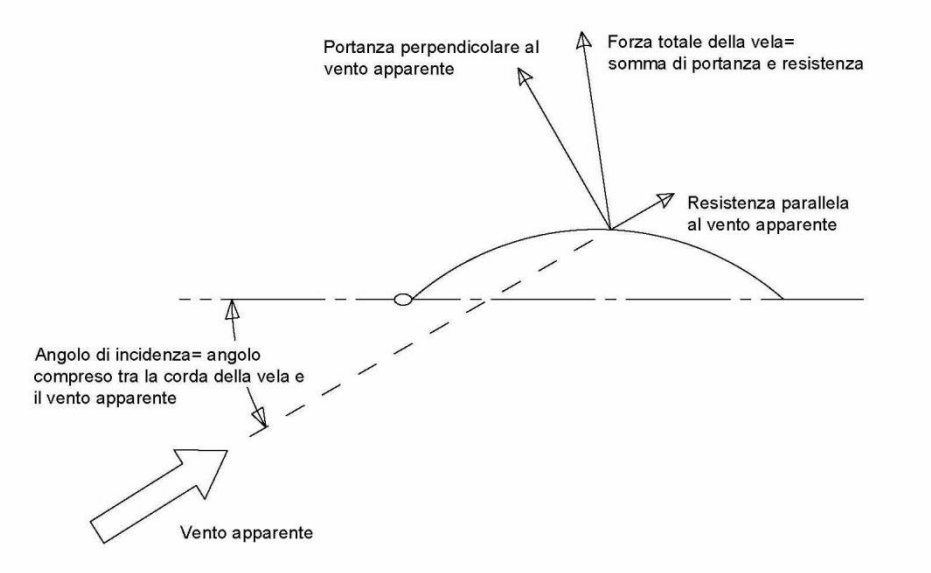

Portanza perpendicolare al vento apparente
Forza totale della vela= somma di portanza e resistenza
Resistenza parallela al vento apparente
Angolo di incidenza= angolo compreso tra la corda della vela e il vento apparente
Vento apparente

Figura 1.6. Forze generate dall'interazione tra vela e vento.

1.4 Regolazioni e carichi nell'utilizzo di un'imbarcazione a vela di grosse dimensioni

Nei paragrafi precedenti sono state descritte le principali manovre sulle quali l'equipaggio interviene durante la navigazione. Ora si passa ad analizzare la natura delle varie regolazioni ed a quantificare le forze ad esse associate.

Come è facile intuire i carichi che l'equipaggio di una qualsiasi imbarcazione deve vincere per movimentare le vele sono quelli che si creano dall' interazione delle stesse con il vento, i quali si scaricano tramite le cime ed una serie più o meno complessa di rinvii allo scafo della barca.

Le dimensioni e le caratteristiche del piano velico (l'insieme delle vele di una barca) e la velocità del vento determinano l'entità delle forze e di conseguenza le caratteristiche dei sistemi di movimentazione siano essi manuali o automatizzati.

E' facile intuire come una superficie velica importante (640 m^2 o 1300 m^2 per la barca in questione) possa generare forze veramente ingenti. L'utilizzo di paranchi opportunamente dimensionati permette di demoltiplicare tali forze riducendo l'entità delle azioni da applicare.

Esistono formule semplici atte a determinare i carichi sui vari componenti e adatte ad un primo dimensionamento, a titolo di esempio viene mostrato come sia possibile determinare la forza di trazione sulla scotta della randa per una barca a medio dislocamento (la forza è espressa in newton):

$$F = \frac{E \cdot P^2 \cdot 0,021 \cdot V^2}{\text{Lunghezza della ralinga}} \cdot 9,81 \quad [1] \qquad (2.1)$$

dove E e P sono rispettivamente la lunghezza della base e dell'inferitura della randa, entrambe espresse in metri, V è la velocità del vento espressa in nodi[(1)]. La ralinga rappresenta il lato più a prua della randa costituito da un taglio curvilineo la cui lunghezza nella formula è anch'essa espressa in metri. Per la barca in questione i valori delle suddette grandezze sono rispettivamente 43 m per l'inferitura, 14 m per la base, 45 m circa per la ralinga, considerando una velocità del vento di 8 m/s (15 nodi) condizione in cui è ragionevole attuare una riduzione della superficie velica per ridurre la forza sbandante, si ottiene una forza di trazione sulla scotta della randa pari 26664 N. La formula è valida in condizioni di andatura di bolina che rappresenta una delle situazioni in cui le strutture e le manovre sono maggiormente sollecitate.

Nella tabella 1.1 vengono riportati i valori delle forze che le manovre devono esercitare relativi all'imbarcazione *Wally 100' Magic Carpet Cubed* (barca che verrà ampiamente descritta nel seguito). Si distinguono i carichi statici massimi che sono quelli a cui i sistemi sono soggetti durante la marcia in moto rettilineo uniforme, in ben determinate condizioni di navigazione (generalmente nell'andatura di bolina), in presenza di ben determinate condizioni al contorno (vento e mare), ed i carichi dinamici che agiscono sui sistemi durante particolari condizioni di moto (per esempio una virata violenta), di vento (per esempio una raffica improvvisa) e di mare (per esempio presenza di onde che possono deviare o rallentare bruscamente il moto dell'imbarcazione).

Tutte queste forze sulle strutture si tramutano in sforzi di flessione e di torsione che danno origine a ingenti deformazioni (dell'ordine delle decine di millimetri per lo scafo). Tutti i componenti vengono dimensionati cercando di ridurne le masse e considerando un carico di rottura superiore al carico dinamico.

Dall'analisi delle forze il progettista può definire tutti quei sistemi e tutte quelle soluzioni che permettano all'equipaggio di poter intervenire sui vari parametri nella maniera più agevole possibile. Questo rappresenta la progettazione del piano di coperta. E' immediato capire come l'entità dei carichi non sia compatibile con la forza

[(1)] Unità di misura della velocità equivalente ad un miglio nautico all'ora (1,852 Km/h).

applicabile da un uomo o da un gruppo di uomini che lavorano insieme e ben coordinati, nasce perciò la necessità di utilizzare sistemi più o meno complessi che permettono di sfruttare differenti forme di energia ed eventualmente automatizzare l'uso di alcune funzioni.
Naturalmente tutte queste considerazioni vanno fatte considerando la tipologia dell'imbarcazione, le dimensioni, le sue caratteristiche costruttive, il tipo di utilizzo a cui è destinata e non ultimo le richieste dell'armatore.

Manovra	Carico statico [N]	Carico dinamico [N]
Caricabasso	262418	367385
Tesabase	45617	63794
Cunningham sulla randa	33354	38259
Cunningham sulla vela di prua	34335	39485
Posizione verticale vela di prua	63765	86328
Posizione orizzontale vela di prua	63765	86328
Tenditore strallo[(2)]	-	248382
Tenditore secondo strallo	181485	208953
Tenditore gennaker	98100	112815
Deflettore sartie volanti	122625	147150
Carrello della randa	24280	33992
Scotta della randa[(2)]	-	50031
Tenditore sartie volanti[(2)]	-	97472

[(2)] Carichi statici non forniti dal progettista del piano velico

Tabella 1.1. Carichi agenti sulle manovre espressi in newton.

1.5 Conduzione dell'imbarcazione e principali manovre

Come già descritto nei paragrafi precedenti perché una barca dotata di vele possa sfruttare nella maniera migliore l'energia del vento e tramutarla in forza di avanzamento è necessario che le vele assumano la conformazione ottimale in ciascuna condizione, questo consente di massimizzare le prestazioni e garantire il pieno controllo del mezzo in ogni situazione.

La spinta del vento è proporzionale al quadrato della sue velocità: ne consegue che se il vento raddoppia la sua velocità, la superficie velica dovrà essere ridotta di un quarto in modo da ridurre la forza sbandante senza ridurre la spinta propulsiva [5].
Queste considerazioni divengono ancora più importanti quando ci si riferisce ad un'imbarcazione da regata, come nel caso della barca in questione, in cui un piccolo incremento di velocità generato da un connubio ottimale fra attrezzatura e fattori esterni, quali vento e mare, può generare notevoli differenze in termini di risultati alla fine di una gara.
Detto questo si può passare a descrivere l'importanza delle varie manovre e l'effetto che queste hanno sul comportamento dell'imbarcazione. Bisogna ricordare che ci si riferirà sempre ad una barca di tipo sloop dotata di attrezzatura Marconi (o bermudiana).
Quando si pensa ad un "oggetto" così complesso e sofisticato nasce spontanea l'idea che definire tutte le attività di controllo ed i settaggi che l'equipaggio può apportare nella vastissima varietà di condizioni ambientali che si possono incontrare risulta in'impresa alquanto ardua, che non è così fondamentale per comprendere l'attività svolta. Nel presente paragrafo si descriveranno dunque le regolazioni sulle manovre principali nelle condizioni di navigazione più frequenti, questo basterà per comprendere l'importanza delle stesse e di tutti quei sistemi che saranno descritti nel seguito.
In una barca a vela la maggior parte delle attrezzature di controllo (chiamate manovre correnti) hanno la funzione di esercitare un carico di trazione su parti delle vele o degli alberi, permettere di salpare, movimentare e ammainare la velatura. Tali funzioni sono in genere demandate a cime sulle quali può agire la forza generata da un uomo o da più uomini, applicata in maniera diretta (in genere per piccole imbarcazioni in cui una superficie velica ridotta richiede forze commisurabili a quelle applicabili da un individuo), oppure per le barche di maggiori dimensioni tramite una serie di meccanismi che permettono di moltiplicare la forza applicata (leve e particolari rotismi); in alternativa possono essere utilizzati sistemi elettrici (motori elettrici applicati a verricelli) e sistemi idraulici (motori idraulici applicati a verricelli e martinetti).

1.5.1 Utilizzo della velatura nella conduzione dell'imbarcazione

Ciò che una barca a vela ha realmente bisogno non è una vela con profilo ideale predeterminato per una predeterminata velocità del vento e rotta stabilità, ma una vela con possibilità di regolazione "infinita" che possa essere messa a punto efficacemente per adattarsi ad una grande varietà di velocità del vento e condizioni di

navigazione. Così, le numerose regolazioni della forma della vela, che un equipaggio può intelligentemente introdurre nel processo di regolazione messo a punto per mezzo di diversi dispositivi di controllo, sono più importanti della disponibilità delle migliori vele disegnate al calcolatore [2].

Ci sono due modi per variare l'angolazione delle vele. Il primo consiste nel servirsi del timone per far cambiare rotta alla barca, orzando nella direzione del vento o poggiando per allontanarsi da esso. L'altro modo consiste nel regolare le scotte per variare l'angolo tra le vele e l'asse di mezzeria della barca. Per navigare in maniera efficiente si deve mantenere un flusso d'aria costante sui due lati delle vele. Il problema è rappresentato dal fatto che l'aria non può fluire lungo curve troppo pronunciate senza dare origine a turbolenze. La curvatura del flusso d'aria dovrebbe quindi essere il più possibile graduale. E' molto importante una corretta angolatura delle vele, specie lungo il bordo d'attacco, la zona che per prima è investita dal flusso. E' importante inoltre che il flusso d'aria lasci senza turbolenze il bordo d'uscita, o caduta di poppa, della vela.

Per aiutare l'equipaggio nel correggere l'angolatura delle vele rispetto al vento, sulla superficie di queste vengono fissati dei fili di lana, o di materiale simile, detti segnavento (noti anche col termine inglese *tell-tales*). Essi indicano efficacemente il comportamento del flusso d'aria. Finché sventolano in senso orizzontale, il flusso d'aria viene deviato correttamente; se uno di essi comincia a sollevarsi o a penzolare, significa che si sta formando una turbolenza dei filetti fluidi dell'aria. Da questo si deduce che la vela non è regolata correttamente in termini di forma e di posizione relativa rispetto al flusso d'aria, ne consegue che dovranno essere apportati degli aggiustamenti.

E' altresì importante mantenere un flusso d'aria regolare nello spazio tra la vela di prua e la vela di poppa. Questa apertura, tra il lato sopravvento del fiocco e il lato sottovento della randa, è conosciuta col nome di "fessura" [3]. Essa ha un notevole effetto sulle prestazioni.

La forma assunta da una vela è uno dei fattori principali che ne definiscono l'efficienza. Essa viene definita soprattutto da due parametri:

- la curvatura o convessità che è il rapporto fra freccia e corda (chiamata in gergo dai velisti "pancia"),
- la posizione del punto in cui si trova la freccia rispetto al bordo d'attacco.

Spostando la freccia verso l'inferitura si abbassa il rapporto portanza/resistenza, si stringe meno il vento ma è più facile manovrare. Mentre se si sposta la freccia verso la balumina migliora il rapporto portanza/resistenza e si può stringere di più il vento, condizione adatta in presenza di venti medi e mare calmo [4].

Un'altro parametro fondamentale è lo svergolamento che può essere definito come una variazione dell'angolo formato dalla linea di corda della vela con la linea mediana al variare dell'altezza lungo la vela stessa. Infatti al variare dell'angolo del vento apparente, il quale aumenta al crescere della quota perché aumenta l'intensità del vento reale che risente meno dell'attrito con la superficie del mare, la parte inferiore della vela ha un angolo di incidenza diverso da quello della parte superiore. Se la vela non fosse svergolata, la parte superiore della vela andrebbe in stallo a causa di un angolo di incidenza eccessivo. Il limite più elevato di efficienza per un profilo alare si verifica immediatamente prima che si realizzi lo stallo di una sezione. Una volta iniziato lo stallo e, dopo che esso si è diffuso, il profilo alare perde rapidamente la sua efficacia in termini di forza motrice ottenibile. L'effetto dello stallo dipende sostanzialmente da due parametri:

- l'angolo geometrico di incidenza della vela,
- la freccia locale della vela.

Maggiore è l'angolo geometrico di incidenza, prima si stabiliranno lo stallo e la separazione, e più evidente sarà la riduzione della forza motrice. Aumentando la convessità della vela si ritarda la formazione prematura di questo fenomeno. L'introduzione di una convessità variabile, in modo tale che essa aumenti gradualmente dalla base fino alla penna, può essere considerata equivalente allo svergolamento lungo l'intera apertura alare di sezioni a convessità costante. Quindi, aumentando la convessità verso le sezioni più alte, aumenta lo svergolamento effettivo [2].

Da queste considerazioni si comprende la raffinatezza degli interventi che una barca a vela richiede per poter navigare in maniera efficiente.

Giunti a questo punto si può passare ad una descrizione specifica delle manovre e dell'effetto che hanno sul moto dell'imbarcazione.

1.5.2 Il caricabasso del boma

Conosciuto anche col termine di vang, ha la funzione di tenere basso il boma, spingerlo contro la trozza, e se non contrastato da un dispositivo di regolazione, a curvare l'albero provocando un appiattimento della metà inferiore della randa e un aumento dello svergolamento della parte superiore della balumina.

Questa manovra collega diagonalmente un punto situato sulla superficie inferiore del boma ad un punto situato nella parte inferiore dell'albero sulla sua faccia poppiera. Il dispositivo permette l'applicazione di una forza lungo il suo stesso asse. Per comprendere meglio l'effetto che questa ha sul sistema è preferibile scomporla lungo due direzioni, una ortogonale ed una parallela, rispetto all'asse del boma stesso (figura

1.7.). La prima componente (F_Y) è la più importante, essa ha l'effetto di curvare il boma verso il basso decretando un appiattimento della parte inferiore della randa, la componente orizzontale (F_X) ha invece una funzione secondaria, spingere il boma contro l'albero determinando una curvatura della parte inferiore di quest'ultimo (l'effetto è però marginale rispetto a quello compiuto dalle manovre che hanno la specifica funzione di modificare la forma dell'albero, esse verranno descritte nel seguito).

Sulle imbarcazioni a vela più comuni tale meccanismo viene realizzato tramite un paranco costituito da una cima in fibra tessile che scorre all'interno di una serie di pulegge. Un'alternativa a questa soluzione prevede l'utilizzo di un attuatore oleodinamico costituito da un elemento monolitico le cui estremità sono collegate ad albero e boma tramite degli snodi. In quest'ultimo caso è possibile modificare il dispositivo in modo tale che sia in grado di sostenere il peso del boma quando l'attrezzatura velica non viene utilizzata.

Il caricabasso del boma è una manovra fondamentale nella gestione di un'imbarcazione a vela in quanto permette la modifica della forma della randa in base alle differenti condizioni di navigazione. Quando la barca procede in condizioni di vento debole la manovra deve essere rilasciata per concedere una maggiore curvatura alla parte più bassa della randa e permetterle di generare una più grande forza di portanza. All'aumentare dell'intensità del vento, invece, bisogna procedere ad un progressivo incremento della forza sulla manovra per limitare la curvatura della vela, necessaria a ridurre la forza di portanza. Questa operazione è doverosa in quanto un aumento della forza di portanza determinata un incremento della forza laterale la quale produce un incremento dell'angolo di scarroccio e quindi una modifica della traiettoria seguita dall'imbarcazione.

Dalle considerazioni esposte si capisce come l'utilizzo di questa è manovra è di fondamentale importanza nella conduzione della barca, i suoi effetti diventano poi essenziali nella ricerca delle massime prestazioni durante le attività di regata. Per ottenere gli effetti appena descritti è necessario che l'imbarcazione disponga di un vang tanto più potente, di utilizzo tanto più semplice e tanto più rapido nell'apportare le regolazioni.

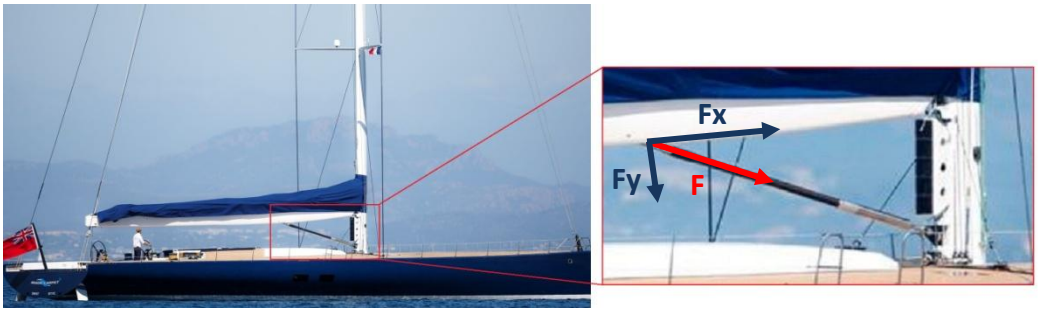


Figura 1.7. Particolare del caricabasso del boma con indicazione forza da esso applicata.

1.5.3 La scotta della randa e il carrello del trasto

La scotta della randa è una manovra che congiunge l'estremità poppiera del boma ad un punto situato sul ponte dell'imbarcazione, costituisce un collegamento pressoché verticale fra i due elementi, come visibile in figura 1.8.
Il suo effetto è quello di generare una forza (F_1) di trazione sul boma, diretta verso il basso e verso poppa, con lo scopo di generare una tensione sulla balumina della randa (il lato più a poppa della vela). Quando il vento è debole questa manovra dove essere lascata per concedere una maggiore curvatura della vela e quindi permetterle di generare una maggiore forza di portanza. Quando il vento aumenta di intensità è invece opportuno tesare la vela per ridurne la sua curvatura e di conseguenza la forza di portanza e la forza laterale da essa generate. La manovra dovrà dunque generare una forza di trazione tanto più ingente tanto più saranno elevati la superficie velica e lo stato di tensione delle fibre costituenti la vela.
Come già citato precedentemente il boma è collegato all'albero tramite la trozza, questo particolare tipo di snodo concede al componente la massima libertà di movimento sia sul piano orizzontale sia su quello verticale, sotto l'azione del vento. Per come il sistema è fatto, esso tenderebbe ad assumere spontaneamente una condizione di equilibrio, il boma si posizionerebbe in modo da formare un angolo nullo rispetto alla direzione del vento e la vela assumerebbe un angolo di incidenza tale da non poter generare alcuna forza di portanza. Da questo si capisce come l'equipaggio della barca debba intervenire in qualche modo sull'attrezzatura per evitare che questo si verifichi. Queste regolazioni possono essere effettuate intervenendo sulla scotta della randa che assume dunque una seconda funzione. Essa deve essere tesata nel caso si voglia diminuire l'angolo compreso tra boma e mezzeria della barca, lascata nel caso contrario. Questa operazione ha però l'effetto di modificare lo stato di tensione della balumina a cui segue una modifica non voluta della forma della randa con conseguenze negative sulla navigazione. Per evitare ciò è necessario che l'equipaggio

della barca possa attuare le regolazioni relative alla posizione del boma in una maniera differente. E' quindi necessaria un'ulteriore manovra, definita trasto, la quale permette di spostare, da un lato all'altro della barca, il punto in cui la scotta della randa è vincolata al ponte. In pratica la scotta è vincolata ad un carrello il quale può essere mantenuto in posizione fissa, oppure spostato trasversalmente sotto l'azione di opportune forze (F_2 e F_3) scorrendo su delle rotaie vincolate al ponte dell'imbarcazione. Muovendo il carrello è così possibile modificare l'angolatura del boma rispetto all'asse longitudinale della barca senza modificare la forma della vela e quindi mantenendone la massima efficienza.
Nel complesso le manovre descritte hanno la funzione di ottimizzare la forma e la posizione della vela di poppa in modo da poter sfruttare al meglio gli effetti positivi che si generano dalla sua interazione con il vento.

Figura 1.8. Particolare scotta della randa e carrello del trasto con indicazione delle forze applicate.

1.5.4 Il tesabase

Questa manovra ha la funzione di mettere in tensione la base della randa, agendo sul punto di scotta della vela, per decretare un appiattimento più o meno accentuato della sua parte inferiore. Essa applica una forza di trazione(F_1) diretta verso poppa, come mostrato in figura 1.9. (lato sinistro). Come visto per le manovre precedentemente descritte, l'equipaggio della barca può intervenire in due modi sull'attrezzatura, cazzando per incrementare lo stato di tensione sulla cima collegata alla vela, oppure lascando per diminuirlo. In questo modo è possibile modificare la forma della vela in base alle esigenze specifiche della navigazione.

Normalmente il tesabase viene lascato permettendo una maggiore curvatura della randa quando il vento apparente diminuisce e quando la prua si allontana dalla direzione di provenienza del vento, viene invece cazzato diminuendo la curvatura della vela quando il vento apparente aumenta di velocità e quando la prua si avvicina alla direzione di provenienza del vento.
Bisogna sottolineare che per comprendere meglio l'effetto che una certa manovra ha sul "sistema imbarcazione" , essa non dove essere valutata singolarmente, ma bisogna valutare l'effetto congiunto derivante della regolazione di tutte le manovre che costituiscono l'attrezzatura. E' proprio grazie ad uno stretto connubio fra l'utilizzo di tutte le manovre che l'equipaggio di una barca a vela può esprimere al meglio le proprie esperienze e capacità nel governare l'imbarcazione con la massima efficienza, per ottenere i risultati migliori durante le regate. E' quindi di fondamentale importanza che l'equipaggio possa agire su ciascuna manovra in maniera agevole, rapida e simultanea.

1.5.5 Il cunningham

Questa manovra è costituita da un particolare tipo di caricabasso che agisce sul punto di mura della randa, applicando per l'appunto una forza (F_2) diretta verso il basso ed in direzione verticale (figura 1.9. lato destro). In condizioni di vento fresco la curvatura della vela tende a spostarsi verso poppa. Il cunningham permette di tesare il suo punto di mura tenendo verso il basso la porzione di randa adiacente all'inferitura, decretando uno spostamento verso prua del punto di mura della vela. Questa manovra è utile in differenti situazioni, quando il vento aumenta di intensità e tende ad arretrare la curvatura della randa, quando i venti sono estremamente leggeri, perché se l'aria si muove a basse velocità non è in grado di seguire un profilo con curvatura marcata (lato sottovento della vela), e ciò determina senza dubbio una riduzione della forza di portanza e quindi un peggioramento delle prestazioni dell'imbarcazione.
Il cunnigham offre velocità e facilità nel cambiare la tensione della ralinga e questo porta ad innumerevoli benefici nella navigazione.

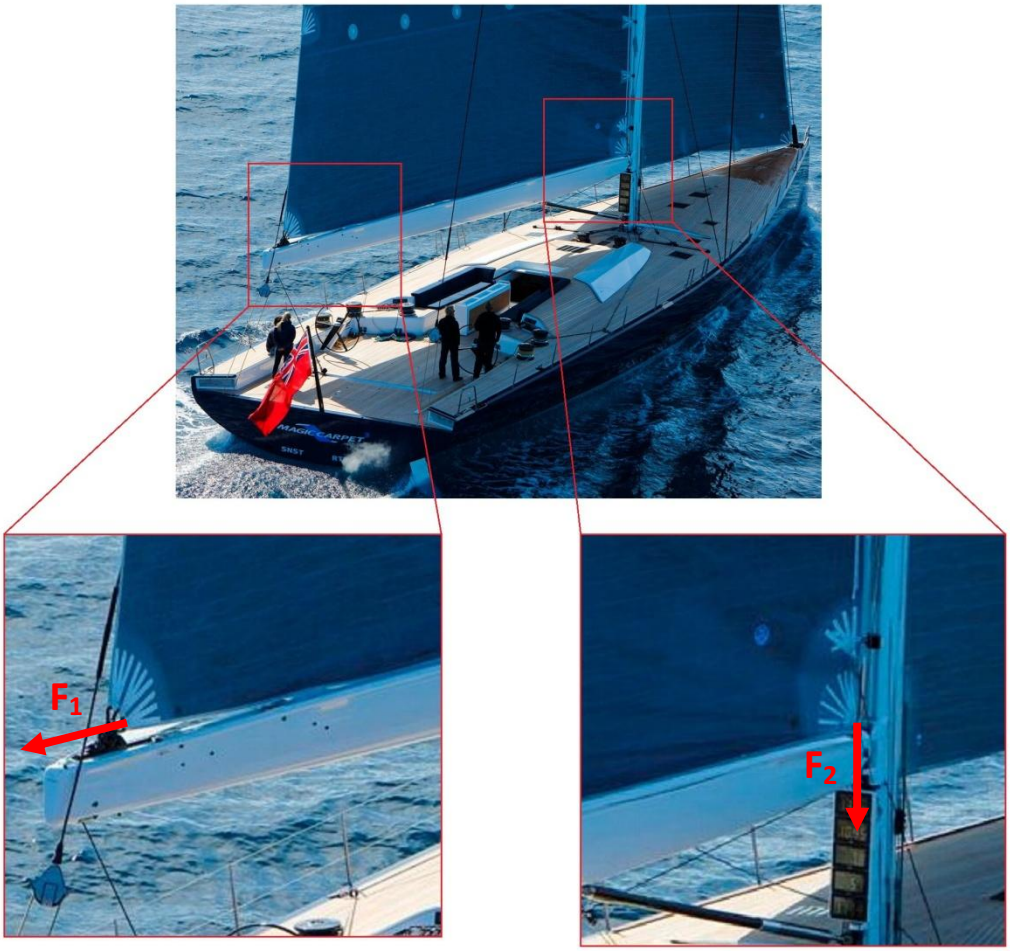


Figura 1.9. Particolari delle forze applicate dalle manovre correnti sulla parte inferiore della randa. A sinistra forza di trazione (F_1) applicata dal tesabase, a destra forza di trazione (F_2) applicata dal cunningham. I dispositivi non sono visibili nelle fotografie in quanto posizionati all'interno del boma o sotto la coperta e funzionanti tramite un meccanismo di rinvii.

1.5.6 I tenditori del punto di scotta delle vele di prua

Per le imbarcazioni che presentano un armamento di tipo bermudiano (è il caso della barca in questione) quando si parla della velatura che si trova a prua dell'albero ci si riferisce ad un insieme di vele, le quali vengono armate singolarmente o in talune condizioni anche in maniera simultanea, nella parte più avanzata dell'imbarcazione. Esse presentano caratteristiche tra loro differenti che le rendono più o meno adatte alle differenti condizioni di navigazione. Le manovre correnti descritte in questo paragrafo non si riferiranno dunque ad una vela specifica (come accadeva per le manovre relative alla randa), ma si occuperanno della regolazione dei diversi fiocchi che saranno di volta in volta armati sullo strallo di prua.
Aiutandosi con la figura 1.10. è possibile comprendere il funzionamento delle suddette regolazioni. Una cima collega il punto di scotta della vela di prua (1) ad un verricello (2) posizionato nella zona centrale dell'imbarcazione. Essa passa attraverso degli anelli (3, 4) necessari a variare la direzione con cui la cima si interseca con la vela. Modificando la posizione verticale dell'anello (3), mediante l'intervento di una cima (5), viene modificata l'angolazione con la quale la scotta applica la forza di trazione sulla vela. In particolare lascando la manovra l'anello si allontanerà dalla superficie del ponte e la componente orizzontale della forza di trazione della scotta assumerà un valore maggiore. In questo modo verrà aumentata la tensione sulla base del fiocco, ciò determinerà una diminuzione della curvatura della vela, che porterà a generare una minore forza di portanza ed una minore forza laterale. Se invece la manovra viene tesata, l'anello (3) si sposterà verso il basso, ed in questo caso sarà la componente verticale della forza di trazione sulla scotta ad assumere il valore maggiore. In questo modo l'aumento di tensione sulla vela riguarderà soprattutto la balumina, il fiocco assumerà una forma più arrotondata determinando un aumento della forza di portanza.
In talune condizioni può diventare necessario modificare l'angolo compreso tra l'asse di mezzeria della barca e la linea di corda definita dalla vela di prua. Questa regolazione è concessa da un'ulteriore manovra la quale permette lo spostamento orizzontale del già menzionato anello (3) lungo la direzione trasversale della barca.
Questo è possibile modificando la posizione del punto di collegamento fra la cima (5) di controllo della manovra precedentemente descritta ed il ponte. Questo specifico punto si trova su un carrello (6) che può essere spostato se fatto scorrere su un'apposita rotaia (7).
L'intero meccanismo è replicato su entrambi i lati dell'imbarcazione per consentire le dovute regolazioni del fiocco sia che esso si trovi da una parte o dall'altra rispetto all'asse di mezzeria della barca.

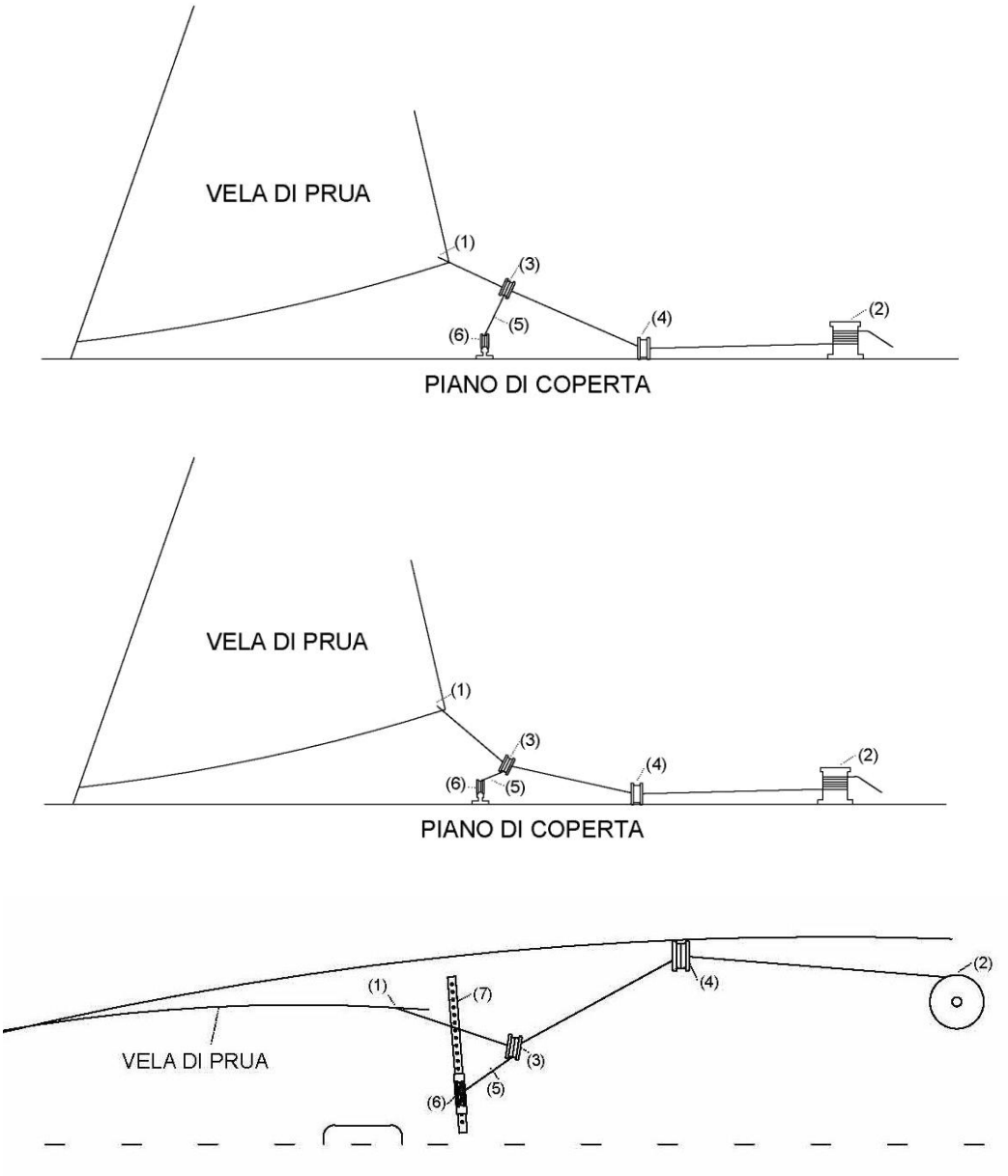


Figura 1.10. Schema funzionamento delle manovre di regolazione della vela di prua. In alto regolazione della base della vela, al centro regolazione della balumina della vela, in basso ingrandimento della manovra di regolazione della distanza fra la vela e l'asse di mezzeria della barca.

Questo complesso sistema di regolazioni permette di modificare la forma e lo svergolamento della vela di prua in funzione delle condizioni di vento e di mare.
A differenza delle rande, queste vele hanno il vantaggio di non risentire dell'incomoda presenza dell'albero, causa di non pochi disturbi ai moti dei flussi di aria, e questo consente loro di utilizzare nel modo migliore le differenze di pressione che si creano nel bordo d'attacco della vela. Per sfruttare appieno questo vantaggio è dunque molto importante poter apportare precise regolazioni a queste vele, e si capisce come le manovre appena descritte diventino di fondamentale importanza durante la navigazione.

Figura 1.11. Particolare delle manovre di regolazione della scotta del fiocco con indicazione delle forze applicate.

1.5.7 Lo strallo di prua

Lo strallo di prua è una manovra che collega un punto situato nella parte superiore dell'albero (posto esattamente sulla sua sommità oppure leggermente più in basso, in base alla tipologia dell'armamento) ad un punto posto all'estremità di prua della barca.
Allo strallo viene vincolata l'inferitura del fiocco (il sua lato più a prua) ed è perciò soggetto al carico che si genera dall'interazione tra la vela ed il vento. Oltre a mantenere il fiocco nella giusta posizione esso serve a reggere l'albero in direzione longitudinale. Quando i venti aumentano di intensità lo strallo tende ad assumere una forma curvilinea sotto l'azione della vela, che a sua volta assumerà una conformazione poco efficiente dal punto di vista aerodinamico. Per questo motivo lo strallo dovrà essere messo in tensione in modo che risulti in grado di contrastare le forze

deformanti generate dal vento. La manovra dovrà dunque generare una forza di trazione verso il basso (figura 1.12.).
La sua regolazione, in combinazione a quella dello strallo di poppa e delle sartie volanti, consente di modificare la curvatura dell'albero e di conseguenza la forma della randa; un albero dritto consente una maggiore curvatura del profilo della vela permettendo di sfruttare al meglio la forza del vento, se invece lo si flette, esso tenderà ad appiattire la randa rendendo più lineare il flusso dell'aria quando i venti sono deboli, e diminuendo la forza sbandante quando essi hanno grande intensità.
Un secondo strallo collega l'albero (in un punto più in basso rispetto al primo strallo) alla prua dell'imbarcazione in una posizione più arretrata rispetto all'estremo di collegamento dello strallo principale. Esso contribuisce al controllo della forma dell'albero, in particolare permette di regolare la sua curvatura verso prua, dalla quale dipende la forma assunta dalla randa.

1.5.8 Le sartie volanti

Si tratta di due manovre, perfettamente identiche, posizionate su entrambi i lati della barca, a poppavia. Esse collegano un punto situato nella parte più alta dell'albero alle strutture dello scafo posizionate sotto la coperta.
La presenza di due sistemi distinti disposti ai lati della randa consente alla suddetta vela un maggiore sviluppo nella parte superiore mentre la sua rotazione intorno all'asse dell'albero è garantita dal fatto che solo la sartia che si trova sul lato della barca da cui proviene il vento sarà in tensione mentre l'altra verrà messa a scarico ed eventualmente spostata verso prua per non interferire con il movimento della randa.
La loro funzione è quella di esercitare una forza di trazione diretta verso il basso e verso poppa necessaria a controbilanciare la forza esercitate dallo strallo di prua (figura 1.12.). Intervenendo accuratamente nella loro regolazione è possibile modificare la curvatura dell'albero, che come già detto precedentemente, determina una modifica nella forma della randa.
Tramite un'ulteriore manovra definita "deflettore" è possibile modificare il punto di collegamento fra sartie volanti e albero in modo che esse possano controbilanciare la forza esercitata dallo strallo secondario quando questo viene messo in tensione.

1.5.9 Il tenditore del punto di mura del gennaker

Questa manovra consente di esercitare una forza sul punto di mura del gennaker diretta verso il basso, consentendo di fornire alla vela il giusto stato di tensione. Il gennaker è un particolare tipo di vela asimmetrica che viene utilizzata nelle andature portanti, essa viene murata a prua della barca e viene connessa al bompresso. Una puleggia è montata sull'estremità di prua di questo dispositivo e permette il rinvio della manovra al meccanismo di azionamento.
Come per le manovre descritte in precedenza, questa manovra di regolazione assume un ruolo fondamentale in quanto permette di sfruttare al massimo le potenzialità della vela, soprattutto nelle condizioni in cui il vento ha bassa intensità.
Per una descrizione specifica del funzionamento dei meccanismi di controllo di ciascuna manovra si rimanda al paragrafo 3.4.1 del capitolo 3.

Figura 1.12. Indicazione delle forze esercitate dalle manovre di regolazione dell'albero. In rosso forza esercitata dallo strallo di prua, in verde forza esercitata dalla sartia volante che si trova sul lato dell'imbarcazione da cui proviene il vento (nella condizione di figura la sartia volante di sinistra viene messa in tensione mentre quella di destra viene lascata).

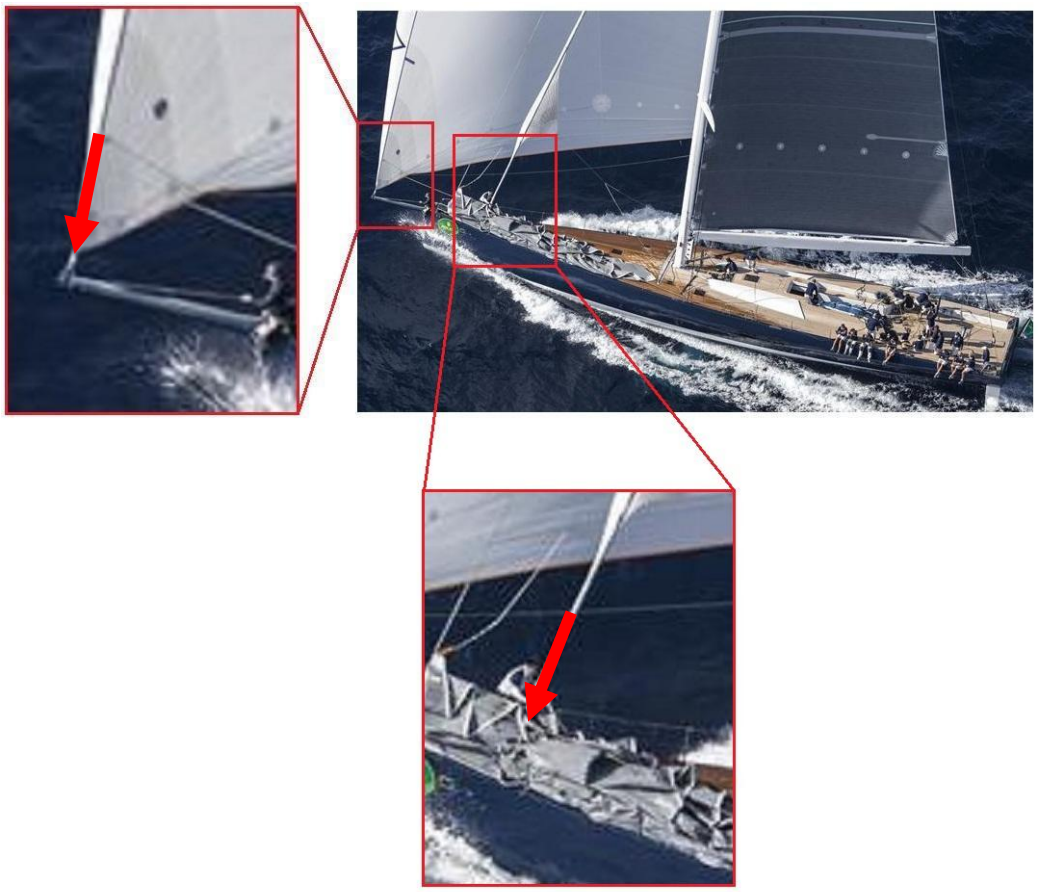


Figura 1.13. Particolari del punto di mura del gennaker e del secondo strallo con indicazione delle forze esercitate dalle manovre di regolazione.

Capitolo 2

L'oleodinamica sulle imbarcazioni a vela

I circuiti oleodinamici sono caratterizzati da prontezza di risposta, facilità di trasmissione e trasformazione del movimento (anche a distanza dal motore di azionamento e con moti complessi dell'utilizzatore), capacità di assorbire forti riduzioni di velocità ed anche inversioni ed intermittenze ripetute nel moto. Tali impianti possiedono inoltre il grande vantaggio di essere relativamente semplici da controllare e regolare. In virtù della facilità di regolazione, i sistemi idraulici trovano applicazione nella regolazione automatica di processi e nei servomeccanismi.
Inoltre, questi impianti richiedono scarsa manutenzione (anche grazie all'auto lubrificazione) e l'unico svantaggio è costituito dalla necessità di un controllo continuo della quantità di fluido a disposizione per il corretto funzionamento (contro le perdite per trafilamento o per rottura delle tubazioni). Ciò si traduce in una notevole sicurezza di esercizio ed alta affidabilità.
Questi aspetti, oltre ad altri vantaggi che verranno esposti nel seguito, hanno reso l'oleodinamica appetibile ai progettisti di imbarcazioni a vela, siano esse da regata o da crociera, ed è ormai diventata parte integrante nel progetto di questo tipo di barche.

2.1 L'energia su una barca a vela

Un'imbarcazione a vela è di per sé un sistema molto efficiente che utilizza l'energia del vento e la converte in forza propulsiva. Questo però non è sufficiente. Come già descritto nel capitolo precedente per sfruttare al meglio l'interazione fra vento e vele è necessario apportare continue regolazioni a queste ultime, è perciò necessaria una qualche forma di energia che permetta di applicare opportune forze alle manovre correnti che agiscono sull'attrezzatura nonché alimentare i numerosi dispositivi presenti. A bordo delle imbarcazioni sono presenti una serie di apparecchiature elettroniche che necessitano di energia elettrica per funzionare, sono divenute sempre più diffuse e sono obbligatorie per alcuni tipi di imbarcazioni; si tratta di strumenti di radio posizionamento (come il GPS) e strumenti di comunicazione (come la radio VHF).
Inoltre nelle imbarcazioni da crociera sono presenti sistemi che facilitano il lavoro dell'equipaggio (come può essere rappresentato da un salpa ancora automatizzato), sistemi dedicati a servizi ausiliari (come possono essere il ventilatore della sala

macchine e il dissalatore) e infine svariate apparecchiature atte a garantire i più elevati livelli di comfort (aria condizionata, frigorifero, forno).
Naturalmente tutte queste considerazioni cambiano a seconda delle caratteristiche, del tipo di utilizzo e delle dimensioni della barca. Per quanto riguarda la barca in questione, essa è stata concepita per poter ottenere le massime prestazioni durante le regate e per essere utilizzata durante le crociere e gli spostamenti con un equipaggio ridotto. Questo ha portato al concepimento di un impianto complesso e fortemente automatizzato in cui la ricerca del massimo grado di flessibilità e la riduzione delle masse hanno rappresentato gli aspetti più critici della progettazione.

2.2 Lo sfruttamento delle diverse fonti di energia

La più antica fonte di energia utilizzata sulle imbarcazioni è sicuramente costituita da quella umana. Sulle navi del passato numerose serie di uomini lavoravano insieme per manovrare l'imbarcazione. Essi si servivano anche di congegni che permettevano di moltiplicare la forza applicata, si trattava di paranchi costituiti da enormi bozzelli e diversi rinvii. Al giorno d'oggi vengono ancora realizzate barche che sfruttano questa fonte di energia per le manovre, esse sfruttano opportuni sistemi come verricelli manuali e coffee grinder[(1)] per amplificare le forze e per ottimizzare il lavoro dell'uomo; questa scelta può discendere da ragioni di semplicità oppure può essere dettata da regolamenti se la barca è destinata a particolari competizioni.
Le imbarcazioni più sofisticate presentano differenti soluzioni atte a rendere la navigazione quanto più semplice, agevole, sicura e confortevole.
La soluzione più comune prevede l'utilizzo di un motore endotermico, generalmente a ciclo diesel, di cui si sfrutta l'alternatore per caricare una serie di batterie elettriche atte ad alimentare dei motori elettrici, collegati ai verricelli, e gli altri servizi che richiedono questo tipo di energia per essere alimentati. Questa tipologia è adatta a barche che hanno un fabbisogno energetico non troppo elevato (tipicamente non più lunghe di 15 m) che non prevedono elevati cicli di scarica e ricarica delle batterie.
Per imbarcazioni più grandi vengono utilizzati opportuni gruppi elettrogeni che sono macchine costituite da un motore endotermico e da un generatore elettrico dedicati alla ricarica delle batterie. Queste soluzioni presentano però dei limiti, quando le potenze in gioco diventano importanti i motori elettrici assumono dimensioni elevate con problemi relativi agli ingombri e ai pesi, inoltre la dimensione dei cavi diventa

[(1)] Verricello utilizzato sulle grandi barche da regata, è composto da una torretta a cui si applicano due manovelle laterali azionate da una o più persone.

ragionevole essendo la quantità di energia che essi possono trasportare proporzionale alla loro sezione.
Da queste considerazioni nasce la necessità di utilizzare una differente soluzione in grado di fornire le potenze necessarie, permettere di ridurre gli ingombri e le masse, essere abbastanza flessibile dal punto di vista della possibilità di utilizzo, essere efficiente, affidabile e non presentare particolari vincoli per quanto riguarda l'installazione. La soluzione che meglio sposa tutte queste caratteristiche è costituita dell'oleodinamica. Un motore endotermico, dello stesso tipo di quelli già citati, viene accoppiato ad una pompa idraulica la quale trasferisce energia ad un fluido vettore che a sua volta la trasferisce a utenze lineari (cilindri), oppure a utenze rotative (motori).
La scelta dell'impianto finale dipenderà da molteplici fattori che il progettista deve considerare in fase di definizione del progetto. Tra essi le caratteristiche della barca in termini di dimensioni, tipologia e caratteristiche del piano velico e sue dimensioni, dislocamento, tipologia costruttiva, caratteristiche della coperta e degli interni, finalità di utilizzo (esclusivamente per regata, esclusivamente per crociera, oppure regata/crociera), tipologia di equipaggio a cui la barca è destinata, prestazioni, assegnazione dell'handicap per la definizione dei punteggi durante le regate, scelte e gusti dell'armatore ed infine norme e regolamenti relativi a competizioni se l'imbarcazione dovrà prenderne parte.

2.3 Le funzioni che richiedono energia

Nel presente paragrafo vengono descritti tutti quei sistemi montati a bordo delle imbarcazioni per i quali il progettista deve prevedere uno specifico sistema di alimentazione di energia atto a permetterne il funzionamento. Va premesso che i sistemi che possono essere collocati sulle barche sono molteplici, per questo ci si riferirà solamente a quelli montati sulla barca in questione.
Il fabbisogno energetico è un aspetto molto importante per quanto riguarda un'imbarcazione perché da esso dipenderà la scelta dei principali impianti di bordo, quali motore endotermico, generatore elettrico, accumulatori, che a loro volto influenzeranno il progetto dell'intera imbarcazione in termini di posizione della sala macchine e dimensioni, esponenti di carico e posizione del baricentro.

2.3.1 Il sistema di propulsione

Il sistema di propulsione è divenuto ormai un elemento indispensabile per le imbarcazioni a vele tanto che praticamente tutte ne sono provviste. Oltre a

permettere la navigazione in assenza di vento, è fondamentale durante le manovre di avvicinamento ai porti e attracco durante le quali è vietato l'uso delle vele. Tutte le barche sono perciò equipaggiate con un motore endotermico che oltre a fornire l'energia al sistema di propulsione provvede a generare la potenza ausiliaria. Esso deve essere opportunamente dimensionato per vincere la resistenza all'avanzamento che la barca incontra durante la navigazione e quindi garantire determinate condizioni di navigazioni in ben determinate condizioni di vento e di mare.

La resistenza all'avanzamento si può considerare costituita da due contributi, la resistenza aerodinamica e la resistenza idrodinamica. La prima è legata all'azione del vento sull'opera morta e sulle sovrastrutture, la seconda è legata all'azione dell'acqua sulle appendici e sull'opera viva. Quest'ultima è connessa alla viscosità dell'acqua e si può suddividere a sua volta in tre differenti contributi, la resistenza d'attrito, la resistenza di pressione (detta anche di forma) che dipende dalla forma del corpo immerso e si manifesta attraverso la formazione di turbolenze intorno allo scafo, la resistenza d'onda dovuta alla generazione di onde da parte dello scafo le quali determinano una certa dissipazione di energia. Inoltre bisogna considerare la resistenza aggiunta causata dal moto ondoso e dai movimenti della barca che ne derivano (rollio e beccheggio).

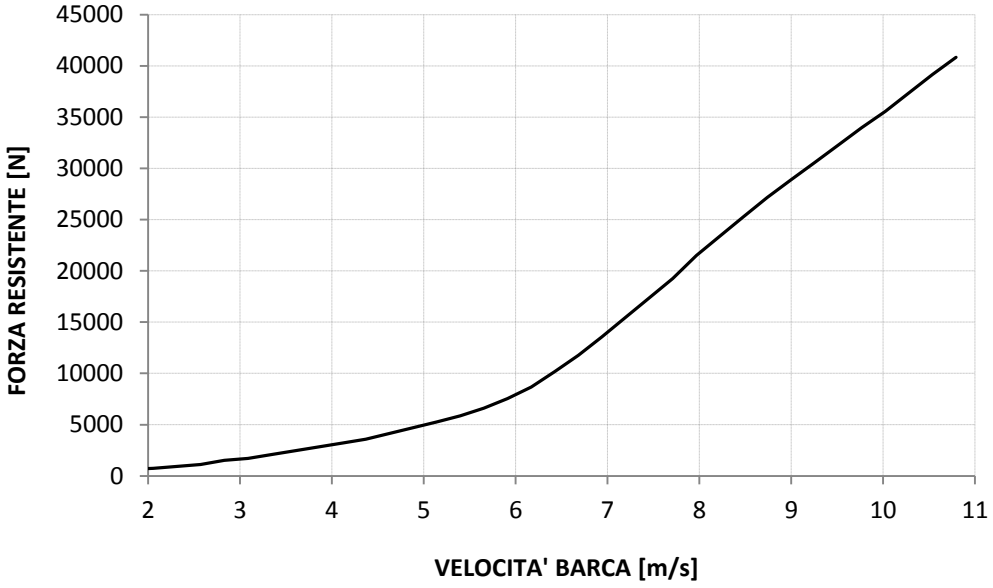


Figura 2.1. Resistenza idrodinamica in funzione della velocità di avanzamento relativa all'imbarcazione Wally 100' Magic Carpet Cubed in assenza di sbandamento.

La figura 2.1 mostra l'andamento della componente idrodinamica della forza resistente in assenza di sbandamento (condizione relativa alla navigazione con propulsione a motore o con andatura in poppa piena). E' possibile apprezzare l'entità di tale forza e come essa cresca con l'aumentare della velocità di avanzamento. Considerando la forza resistente ad una data velocità è possibile determinare la potenza necessaria all'avanzamento in tale condizione. Bisogna ricordare che la componente aerodinamica della forza resistente (in figura 2.1 non considerata) può avere un peso notevole nel computo della forza resistente totale specie in condizioni di vento contrario e di notevole intensità. Per il dimensionamento del sistema di propulsione bisogna considerare che per una barca di questo tipo, durante gli spostamenti in cui sfrutta la potenza del motore, la velocità di crociera in condizioni normali è attorno a 5 m/s (10 nodi).

2.3.2 La regolazione delle vele

Come già descritto nel capitolo precedente la corretta regolazione delle vele che va attuata al variare delle condizioni di navigazione (andature) e delle condizioni ambientali (vento e mare) richiede una notevole fonte di energia. E' compito del progettista definire tutti i sistemi e i meccanismi che mettano l'equipaggio nella condizione di poter condurre la barca nella maniera più efficiente e prestazionale. Non a caso, soprattutto per imbarcazioni particolari e progetti one off (realizzazione di un unico esemplare), il progettista lavora a stretto contatto con alcuni membri che costituiranno l'equipaggio come il comandante ed i suoi assistenti. Questo serve per risolvere al meglio i problemi e soddisfare appieno tutte le esigenze del cliente.
Si può scegliere di adottare tutti sistemi manuali, tutti automatizzati, oppure una parte di essi manuali e la restante parte automatizzati. Definito ciò, si passa alla scelta specifica di ciascun sistema relativo alla singola utenza ed al modo di movimentarlo se esso non è manuale.

Figura 2.2. Due esempi di attrezzatura per imbarcazione a vela: a sinistra cilindro oleodinamico, a destra verricello elettrico.

I principali vincoli che si presentano riguardano le potenze richieste, gli ingombri e le masse dei vari componenti, l'efficienza, la possibilità di utilizzo simultaneo di più funzioni, la stabilità di funzionamento.
L'attrezzatura comprende un certo numero di verricelli, cilindri e sistemi avvolgifiocco.

2.3.3 Sistemi ausiliari

A secondo del tipo e della categoria di imbarcazione si possono trovare diversi sistemi ausiliari come salpa ancora, dissalatore, pompa dell'acqua, ventilatore. E' molto importante una corretta definizione delle contemporaneità delle funzioni per poter determinare il massimo fabbisogno energetico e dimensionare opportunamente tutti i componenti. Come esempio si può citare il dissalatore, funzione che non è di importanza primaria, il cui utilizzo può essere negato in talune condizioni, per esempio durante l'utilizzo dell'attrezzatura e durante la propulsione a motore. Un risparmio energetico può significare una riduzione delle masse e quindi un miglioramento delle prestazioni.

2.3.4 Generazione di energia elettrica

Per le imbarcazioni da diporto che possono superare determinate distanze dalla costa la dotazione di strumenti di comunicazione e navigazione elettronici nonché di luci di segnalazione è un aspetto obbligatorio. Da questo si deduce che tutte le barche, di qualsiasi epoca siano, devono essere dotate di un impianto elettrico atto ad alimentare tali apparecchiature. L'utilizzo di accumulatori di carica elettrica quali pacchi batterie da ricaricare durante la sosta nei porti può essere sufficiente se il fabbisogno energetico è ridotto. In caso contrario è necessario che a bordo sia presente un sistema di generazione di energia elettrica atto a ricaricare le batterie. Questa funzione viene demandata ad un motore endotermico, presente per la maggior parte di categorie di imbarcazioni. Salendo con le potenze richieste dalle utenze si passa a gruppi elettrogeni dedicati con potenze da pochi kilowatt fino a diverse decine di kilowatt. Si tratta di apparecchiature indispensabili se l'imbarcazione dispone di innumerevoli utilizzatori elettrici come elettrodomestici, climatizzatori e sistemi di ventilazione e illuminazione che presentano nel complesso un elevato assorbimento elettrico. Inoltre sull'imbarcazione potranno essere presenti (ed è il caso della barca in questione), e di conseguenza dovranno essere alimentati elettricamente, un computer di bordo e se ci sono sistemi automatizzati un plc (controllore logico programmabile, descritto nei capitoli successivi).

Per alcune classi di imbarcazioni il dimensionamento del sistema di generazione della corrente elettrica può derivare da vincoli regolamentari come possono essere quelli dettati dalla Wally Class (associazione che sarà descritta nel seguito).
Per quanto riguarda le barche da regata-crociera come la *Wally 100' Magic Carpet Cubed* tutte le scelte progettuali relative agli aspetti appena citati costituiranno un compromesso fra efficienza, prestazioni e rumore generato, mentre l'obiettivo primario risulterà sempre quello di riduzione delle masse.

2.4 Forze e potenze in gioco

Questo paragrafo ha lo scopo di definire l'entità delle forze e delle potenze relative ai sistemi descritti in precedenza. Esse, naturalmente, possono variare notevolmente in merito al tipo di imbarcazione che si considera e all'utilizzo a cui è destinata, nella presente trattazione ci si riferirà dunque ad un'imbarcazione da regata-crociera veloce con lunghezza intorno ai 30 metri.
L'attrezzatura di questo tipo di barche a vela è soggetta a forze ingenti, dell'ordine delle decine di kilonewton o anche delle centinaia su alcune manovre. Le forze da applicare sulle manovre correnti hanno dunque questi ordini di grandezza.
Per quanto riguarda le potenze in gioco bisogna fare una distinzione. Durante le regolazioni in cui non viene cambiata l'andatura esse hanno valori relativamente contenuti, siccome la potenza è il risultato del prodotto della forza per la velocità ed avendo quest'ultima valori decisamente piccoli, i valori di potenza che si ottengono di conseguenza sono dell'ordine di qualche kilowatt. Questo è dovuto al fatto che le regolazioni che si effettuano sulle manovre correnti sono per lo più piccoli aggiustamenti a basse velocità. Un discorso differente merita l'utilizzo delle manovre in altre condizioni, per effettuare ad esempio un cambio di andatura. Può presentarsi la necessità di ammainare una vela ed issarne un'altra, il tutto da effettuare molto velocemente utilizzando un verricello, oppure manovrare la scotta della randa ed i tenditori delle sartie volanti durante la virata, manovra che in genere ha una durata di 15 secondi circa, durante la quale bisogna cambiare la posizione relativa della randa rispetto all'asse della barca e mettere in tensione una delle due volanti e scaricare l'altra. In questo caso le potenze in gioco sono di qualche decina di kilowatt.
Nelle imbarcazioni sono poi presenti una serie di sistemi ausiliari come pompe dell'acqua e ventilatori, sistemi accessori come il dissalatore; le potenze connesse dipendono dal tipo di sistema, in generale hanno un ordine di grandezza di qualche kilowatt.
Per quanto riguarda il sistema di propulsione esso deve essere in grado di generare la forza di spinta necessaria allo spostamento della nave. Ad essa si oppongono la forza

resistente e la forza d'inerzia. La prima dipende da: caratteristiche dell'imbarcazione in termini di forma dello scafo, della chiglia, del timone, superficie bagnata, dimensioni e forma dell'albero, caratteristiche delle manovre, delle attrezzature e della coperta, nonché dalle condizioni del mare (presenza di onde e correnti) e dall'eventuale presenza di vento contrario. Per la barca in questione nelle normali condizioni climatiche e alle normali velocità di navigazione si attestano valori della forza resistente intorno a 10000 N. La forza d'inerzia dipende invece dall'accelerazione e dalla massa. Se il primo termine ha valori modesti e non rappresenta un parametro fondamentale in quanto una nave non necessita di variare bruscamente la sua velocità, il secondo incide notevolmente presentando valori decisamente elevati (50000 kg per la barca in oggetto). Nasce così una forza dello stesso ordine di grandezza della forza resistente.
Conoscendo l'entità di tale forza e definendo una condizione di navigazione obiettivo in termini di velocità di crociera e di vento è possibile determinare la potenza effettiva[(1)] necessaria allo spostamento dell'imbarcazione in quelle condizioni. Per il tipo di barca in questione si parla di una potenza intorno ai 50 kW. Partendo da questo valore e ipotizzando i valori dei rendimenti degli organi di trasmissione è possibile un primo dimensionamento del motore endotermico. Bisogna sottolineare che l'elemento col valore di rendimento più basso, che determina una notevole dissipazione di potenza, è rappresentato dell'elica, le perdite connesse sono intorno al 50%. Nella figura 3.3 è schematizzato un sistema di propulsione tipico con gli elementi che lo compongono.

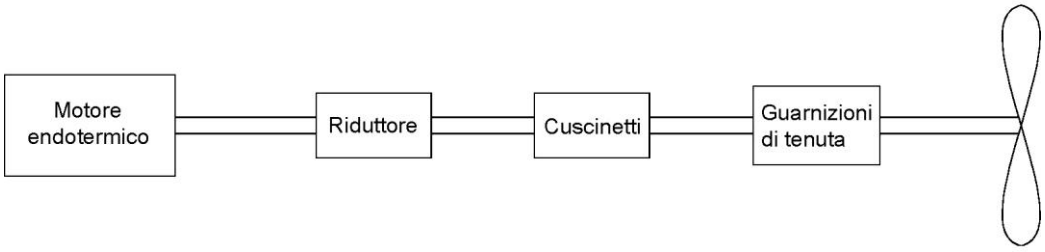


Figura 2.3 Treno di trasmissione della potenza per un classico sistema di propulsione.

La produzione di energia elettrica a bordo di un'imbarcazione rappresenta un aspetto abbastanza delicato. Il progettista deve prevedere un impianto in grado di soddisfare tutte le esigenze dell'equipaggio in termini di utilizzo contemporaneo delle varie apparecchiature, garantire la massima efficienza ed i minimi consumi, rendere minimo il rumore generato. Inoltre è importante considerare il fatto che i sistemi atti alla

(1) E' la potenza che contribuisce effettivamente allo spostamento dell'imbarcazione.

produzione di corrente elettrica quali generatori, alternatori, relativi sistemi di accoppiamento, possono avere masse notevoli, il progettista deve cercare di tenere bassi tali valori e prestare attenzione al posizionamento a bordo della nave.
Naturalmente tutte le scelte implicheranno anche aspetti tecnico-economici nonché la reperibilità sul mercato. Su questo tipo di barche la potenza elettrica installata è di norma compresa tra 10÷20 kW.

Dalle considerazioni qui riportate e dal piano di utilizzo delle funzioni di bordo discende la scelta della fonte di potenza primaria in termini di caratteristiche, potenza massima generata, consumi, masse. Per questo tipo di imbarcazioni la scelta tipica ricade su motori marini a ciclo diesel con potenze superiori a 250 kW.

2.5 Differenti soluzioni

Molte sono le alternative a disposizione dei progettisti. Ogni soluzione prevede vantaggi e aspetti sfavorevoli, la scelta finale deve rappresentare la soluzione di miglior compromesso che sia in grado di soddisfare tutti gli obiettivi del progetto e che sia economicamente vantaggiosa.
In questo paragrafo vengono descritte le soluzioni che più comunemente equipaggiano le imbarcazioni da diporto, questo aiuterà a valutare alcune delle scelte riguardanti il presente progetto.

2.5.1 Il sistema di propulsione

I motori a combustione interna hanno regimi di rotazione di molto superiori ai 1000 giri al minuto ed erogano la loro massima potenza a un regime molto elevato rispetto alle necessità della propulsione idrodinamica tramite l'elica. Risulta quindi necessario predisporre un meccanismo in grado di ridurre i giri del motore prima che siano trasmessi all'asse dell'elica: il riduttore. Il meccanismo, normalmente accoppiato con l'invertitore, svolge contemporaneamente le due funzioni (inversione della marcia e riduzione del numero di giri di rotazione). I rapporti di riduzione nelle barche a vela sono dell'ordine di due a uno o uno e mezzo a uno. Rapporti più alti vengono utilizzati dalle barche da lavoro che hanno bisogno di maggiore potenza.
I primi entrobordo su barche a vela hanno avuto la trasmissione del moto in linea d'asse, così come avveniva per le barche a motore. Mediante l'inserimento di un giunto cardanico interposto tra riduttore e asse elica e mediante un sistema in grado di reggere le spinte assiali provenienti dalla stessa, è possibile attuare il sollevamento dell'elica entro la sagoma dello scafo in modo da ridurre la forza resistente nella

navigazione a vela. Un'altra modalità prevede la trasmissione del moto tra motore e elica attraverso un piede poppiero immerso contenente due coppie di ingranaggi conici in un bagno d'olio. Questa tipologia sta prendendo sempre più piede sulle imbarcazioni a vela di medie dimensioni. Il gruppo di trasmissione, comprendente l'invertitore-riduttore, risulta più raccolto e idrodinamico, e l'elica si trova in pratica sulla verticale della parte posteriore del motore. In questo modo gli ingombri sono ridotti rispetto ad una soluzione a linea d'asse e l'installazione è più semplice perché non presenta le difficoltà di allineamento presenti per la prima soluzione. Per contro il passaggio attraverso lo scafo deve essere molto più grande del precedente ed il rendimento risulta più basso.
Altre soluzioni prevedono l'utilizzo di motori elettrici alimentati da generatori riservati a tale scopo o dalla rete ausiliaria di bordo. Gli impianti di propulsione elettrica sono costituiti da uno o più motori primi (motori endotermici a ciclo diesel) accoppiati ad alternatori che alimentano le batterie elettriche. A queste sono collegati i motori elettrici di propulsione dotati di convertitori che hanno la funzione di variare il regime di rotazione del motore agendo sulla frequenza di alimentazione. Queste modalità prevedono una serie di vantaggi, basti pensare alle superiori dinamiche dei motori elettrici rispetto a quelli endotermici, alla possibilità (avendo eliminato il vincolo della linea d'asse) di allocare pesi e ingombri in modo più razionale e alla riduzione dei consumi di combustibile da parte dei motori primi che è possibile far lavorare nell'intorno del punto di massimo rendimento.
Una soluzione diversa, che presenta altrettanti vantaggi, è rappresentata dall'oleodinamica. Un motore endotermico movimenta una pompa che aspira olio da un serbatoio e lo invia ad un motore oleodinamico che converte l'energia del fluido in un momento torcente che viene a sua volta trasmesso all'elica, l'olio fluisce poi al serbatoio e ritorna nel ciclo. Utilizzando una pompa con cilindrata variabile è possibile variare la portata del fluido per variare il numero di giri dell'elica pur mantenendo costante il numero dei giri del motore primo.

2.5.2 Generazione energia elettrica

Questo tipo di energia, che come abbiamo già visto è di fondamentale importanza a bordo di un'imbarcazione, viene generata dall'alternatore, una macchina elettrica rotante basata sul fenomeno dell'induzione elettromagnetica. Esso è in grado di trasformare energia meccanica in energia elettrica sotto forma di corrente alternata. L'energia meccanica deve essere fornita da un motore endotermico in grado generare questa forma di energia partendo dall'energia chimica contenuta nel combustibile. Naturalmente tutte queste trasformazioni di energia avvengono con dei rendimenti i

quali determinano perdite energetiche non indifferenti, questo però è l'unico modo di sfruttare una grande quantità di energia a bordo di una barca di questo tipo.
L'accoppiamento fra la macchina termica e quella elettrica nel più classico dei casi è di tipo meccanico, in questo caso il rapporto fra il numero di giri delle due macchine è univoco. Un'alternativa è rappresentata dall'oleodinamica, le modalità impiantistiche sono le stesse descritte per il sistema propulsivo, pompa connessa al motore endotermico e motore oleodinamico connesso all'utilizzatore che nel caso specifico è l'alternatore, anche in questo caso l'utilizzo di una pompa a cilindrata variabile permette di far funzionare il motore primario nella condizione più efficiente mentre l'alternatore deve funzionare entro una ristretta gamma di giri per poter erogare corrente elettrica con determinate caratteristiche in grado di ricaricare gli accumulatori.

2.5.3 Regolazione dell'attrezzatura

Sono innumerevoli gli interventi che si possono apportare attraverso l'attrezzatura. Il sistema più semplice prevede l'utilizzo di verricelli manuali. Un verricello è costituito da un tamburo messo in rotazione da una leva e lungo cui viene avvolta una cima. La forza applicata dall'uomo moltiplicata per il braccio della leva si trasforma in coppia, tramite una serie di ingranaggi interni al tamburo è possibile cambiare il rapporto di trasmissione e moltiplicare la coppia applicata. Siccome la potenza non può superare un determinato valore dato dai limiti delle capacità umane, ed essendo questa data dal rapporto della coppia per la velocità di rotazione, ne consegue che ad una moltiplicazione della coppia seguirà una corrispondente riduzione dei regimi di rotazione del tamburo. Ciò porta ad un incremento dei tempi di intervento sulle manovre correnti. I verricelli più moderni ed evoluti presentano la possibilità di cambiare il rapporto di trasmissione, in questo modo durante la prima fase di intervento sulla manovra, nella quale i carichi sono più bassi, il tamburo del verricello girerà più velocemente, mentre durante la fase terminale nella quale i carichi saranno molto elevati esso girerà più lentamente. Quando questo non basta nasce la necessità di dovere incrementare la potenza applicata al verricello. La soluzione più comune prevede l'utilizzo di motori elettrici collegati agli assi del verricello nella parte inferiore. L'energia elettrica assorbita è ingente ed aumenta proporzionalmente alla tensione che devono sopportare per tesare le cime. Per esempio un verricello a 12 volt necessita di un circuito elettrico a 90 ampere [1]. Inoltre al crescere delle potenze installate aumentano notevolmente ingombri e masse dei motori. I comandi avvengono tramite centraline poste nelle vicinanze o vicino al timone.

Un'alternativa possibile è rappresentata dall'oleodinamica. Permette di applicare potenze elevate mediante l'utilizzo di apparecchiature contenute. Inserendo nel sistema delle valvole comandate elettricamente e gestite da un opportuno sistema di controllo si può automatizzare il sistema e limitare l'intervento dell'equipaggio all'utilizzo di pulsanti posizionati in opportuni punti dell'imbarcazione.
Alcune manovre correnti vengono regolate per mezzo di cilindri oleodinamici. Essi permettono di generare forze elevate senza dovere utilizzare i verricelli. In questo modo è possibile evitare di utilizzare bozzelli pesanti e ingombranti e ridurre la complicazione dell'armamento.
Le considerazioni fatte risultano di notevole importanza per alcuni tipi di barche, specie se utilizzate per crociera. Le attrezzature manuali richiedono forza e abilità da parte di chi le usa, richiedono i giusti spazi dal parte del manovratore, sono inoltre necessari coordinazione e tempismo. Gli impianti oleodinamici automatizzati consentono ad un uomo solo di azionare più manovre contemporaneamente riducendo così l'affollamento a bordo.

2.5.4 Sistemi ausiliari

Queste apparecchiature richiedono un fabbisogno di potenza inferiore rispetto ai sistemi già menzionati. Tipicamente gli impianti prevedono l'utilizzo di motori elettrici per il comando di pompe e ventilatori, nel mercato è presente una vasta gamma di dispositivi completi ottimizzati per le condizioni di utilizzo e facilmente installabili. Ancora una volta l'oleodinamica rappresenta la più valida alternativa se è già presente un impianto che lavora con olio in pressione.

L'utilizzo di un unico sistema per movimentare tutte le funzioni a partire da un'unica fonte di potenza può apportare notevoli vantaggi in termini di efficienza, flessibilità e massa totale dell'impianto.

2.6 La scelta dell'oleodinamica

Il successo incontrato dall'oleodinamica in moltissimi settori è riconducibile agli innumerevoli vantaggi offerti da questa tecnologia, che combina formidabili concentrazioni di potenza con eccellenti capacità di controllo e regolazione. Inoltre la sua combinazione con l'elettronica delle ultime generazioni ha permesso la realizzazione di progetti sempre più complessi e sofisticati.
Come altri sistemi di trasmissione della potenza, l'oleodinamica presenta limiti e controindicazioni, di cui occorre tenere conto nell'impostazione iniziale del progetto. Il

rendimento totale della trasmissione è inferiore a quello di trasmissioni meccaniche ed elettromeccaniche. Se sono richieste tolleranze spinte di sincronizzazione di più utenze, occorrono dispositivi di controllo e di regolazione relativamente complessi. L'alimentazione contemporanea di attuatori in parallelo richiede particolari accorgimenti circuitali. La comprimibilità del liquido, sebbene limitata, può incidere sulla precisione dei movimenti, soprattutto nei grandi impianti funzionanti ad alta pressione, inoltre la variazione di viscosità del liquido dovuta ai cambiamenti di temperatura può essere fonte di perturbazione. E' quindi richiesta una progettazione impiantistica molto attenta, che adotti tutti quei provvedimenti necessari a limitare gli aspetti negativi e che permetta di sfruttare appieno tutti i vantaggi di questa tecnologia.

2.6.1 Principi di oleodinamica

Si immagini di collegare con un tubo due recipienti cilindrici 1 e 2 di diametri d_1 e d_2 (aree A_1 ed A_2) pieni di liquido incomprimibile e muniti di due pistoni. Se si applica al pistone di diametro d_1 la forza F_1, perché il sistema rimanga in equilibrio, è necessario applicare al pistone di diametro d_2 una forza F_2 di maggiore entità. Si può definire rapporto di moltiplicazione della forza K il numero adimensionale:

$$K = \frac{F_2}{F_1} = \frac{A_2}{A_1} = \frac{d_2^2}{d_1^2} \tag{3.1}$$

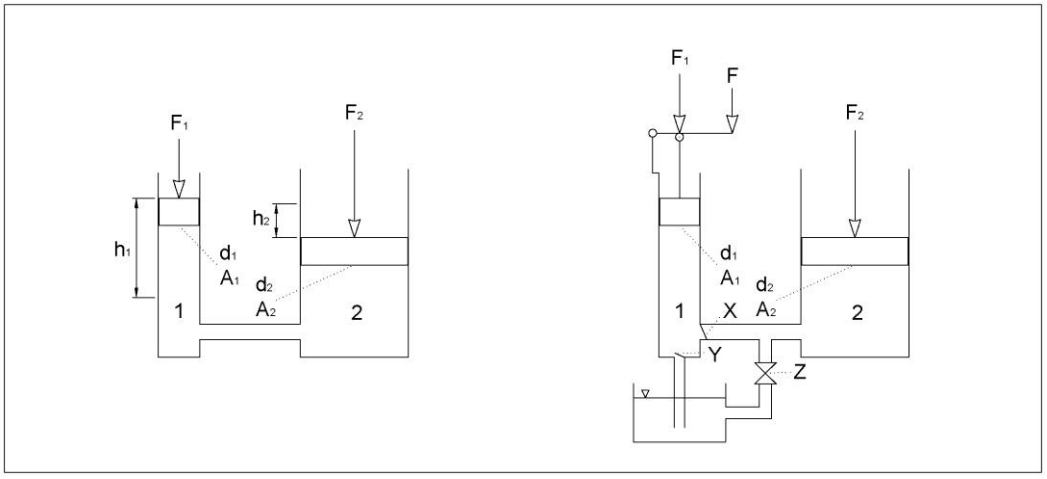


Figura 2.4. Leva idraulica a sinistra. Torchio idraulico a destra.

Se si sostituisce il cilindro 1 con una pompa manuale in grado di prelevare da un serbatoio con ripetute pompate un volume di liquido indefinito ed inviarlo al cilindro 2 si ottiene un torchio idraulico[(1)].
Al pari della leva meccanica, la leva idraulica può essere impiegata in senso diretto o in senso inverso. Nel primo caso applicando al pistone 1 la forza F_1 si genera una pressione:

$$p=\frac{F_1}{A_1} \tag{3.2}$$

per il principio di Pascal la stessa pressione si applica al pistone 2, dove sviluppa la forza:

$$F_2=p\cdot A_2 \tag{3.3}$$

è quindi possibile concludere:

$$\frac{F_1}{A_1}=\frac{F_2}{A_2} \tag{3.4}$$

La forza sviluppata in 2 è il prodotto della forza applicata in 1 per il rapporto di moltiplicazione K. Dall'uguaglianza dei volumi spostati dai pistoni si può determinare il rapporto fra le corse h1 e h2:

$$h_1\cdot A_1=h_2\cdot A_2 \rightarrow \frac{h_2}{h_1}=\frac{A_1}{A_2}=\frac{1}{K}\rightarrow h_2=\frac{h_1}{K} \tag{3.5}$$

Applicando al pistone 2 la forza F_2 si ottengono risultati corrispondenti.
Si conclude che un sistema come quello appena descritto può essere sfruttato per incrementare una forza o uno spostamento. Il prodotto di questi due termini si definisce lavoro o energia. In entrambi gli impieghi descritti della leva idraulica vale il principio di conservazione dell'energia: l'energia immessa (o restituita) sul pistone 1 è uguale all'energia restituita (o immessa) sul pistone 2. La legge della conservazione dell'energia vale in linea teorica per qualunque trasmissione, fermo restando che in

(1) Per poter funzionare correttamente il sistema necessita di valvole di ritegno X e Y che impediscono il riflusso del liquido dalla pompa al serbatoio e un rubinetto Z che consente la discesa del pistone 2 senza l'intervento della pompa (figura 2.4).

pratica l'energia immessa differisce dall'energia restituita per le perdite intercorse. La leva idraulica è la forma più elementare di trasmissione idraulica dell'energia[3].
Il principio di Bernoulli è una diretta conseguenza del principio di conservazione dell'energia. Riferito al liquido ideale (fluido incomprimibile privo di attrito interno e rispetto alle pareti), che scorre in regime permanente (velocità costanti nelle singole sezioni) entro un tubo di flusso (mantello chiuso, rigido, impermeabile di sezione qualunque) si enuncia come segue. In ogni sezione di un tubo di flusso per un liquido ideale in regime permanente è costante la somma della pressione statica, idrostatica e dinamica:

$$p+\rho \cdot g \cdot h+\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2=\text{cost} \tag{3.6}$$

p rappresenta la pressione di tipo statico lungo la linea di flusso, ρ è la densità del fluido, g è l'accelerazione di gravità, h è la quota media della sezione, v è la velocità media del flusso supposta costante per tutti i punti della sezione. Per quanto riguarda il liquido reale esso differisce da quello ideale in quanto non è incomprimibile ed è soggetto ad attriti interni e sulle pareti. Per il bilancio energetico in un tubo di flusso reale si può prescindere dalle variazioni di volume dovute alla comprimibilità, mentre occorre prendere in considerazione le conseguenze dell'attrito, che si traducono in perdite di calore (trascurabili nel bilancio energetico) e perdite di pressione o di carico che invece hanno un peso rilevante. Un liquido reale che percorre un circuito composto da tubi, raccordi, curve, deviazioni, diramazioni, strozzamenti, subisce una perdita di carico dovuta a resistenze distribuite ed a resistenze localizzate. Di conseguenza la somma della tre pressioni lungo due sezioni di un condotto percorso da un fluido non è costante ma differisce per le perdite di carico presenti fra queste. L'equazione di Bernoulli diventa:

$$\left(p_1+\rho \cdot g \cdot h_1+\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_1^2 \right)-\left(p_2+\rho \cdot g \cdot h_2+\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_2^2 \right)=\Delta p \tag{3.7}$$

Negli impianti oleodinamici la pressione idrostatica e la pressione dinamica hanno di regola un ruolo insignificante. I dislivelli geometrici fra tronchi diversi dell'impianto generano pressioni dell'ordine delle centinaia di kilopascal, mentre le velocità medie normalmente assunte nei tubi (di regola non superiori a 6 m/s) generano pressioni dinamiche con valori inferiori. Questi termini assumono quindi valori di diversi ordini

[3] L'alto tipo di trasmissione di energia per via fluida è quello idrocinetico (comprendente una pompa centrifuga ed una turbina), che si basa sul movimento di grandi masse di liquido a bassissime pressioni.

di grandezza inferiori rispetto a quelli assunti dalla pressione statica e possono perciò essere trascurati. Non possono essere trascurate invece le perdite di carico, distinguibili in distribuite e localizzate. Le prime sono le perdite di pressione che il liquido subisce percorrendo una tubazione rigida o flessibile, rettilinea o con curvatura minima, di lunghezza nettamente superiore al diametro interno. Le seconde, invece, sono perdite di pressione che il liquido subisce per attrito e turbolenza in punti concentrati del circuito, come spigoli di valvole o distributori, curve, raccordi, imbocchi, sbocchi, deviazioni, confluenze e diramazioni. In generale il progettista di oleodinamica può sfruttare le indicazioni contenute nella vasta documentazione tecnica dei costruttori di raccordi, valvole e distributori, che con tabelle o diagrammi forniscono direttamente per i vari componenti i valori numerici delle perdite di carico localizzate in funzione della portata per un determinato valore di viscosità del fluido.
Un altro concetto di notevole importanza in questo ambito è la legge di conservazione della massa. In un tubo di flusso in regime permanente la massa di liquido entrante in una sezione di monte e quella uscente da una sezione di valle si conservano inalterate. Ne discende il principio di continuità: in un tubo di flusso il volume di liquido che attraversa ogni sezione nell'unità di tempo è costante. Questa è l'espressione più semplice per definire la portata Q [6].

2.6.2 L'oleodinamica sulla barca a vela

Dalle navi da carico e da lavoro fino alle barche da diporto l'oleodinamica ha preso sempre più piede grazie ai diversi vantaggi che propone. I componenti oleodinamici sono robusti, protetti contro l'azione delle onde, ai pericoli elettrici, all'incendio. Assicurano totale libertà di posizionamento fra motopompe e utenze. Per quanto riguarda i sistemi di propulsione i comandi oleodinamici assicurano invertibilità di rotazione, sollevamento, regolazione di regime, indipendenza fra pompa ed elica. La variabilità di cilindrata apre la possibilità di conversione della coppia e del regime di rotazione, in modo da ottimizzare il rendimento del motore endotermico e l'efficienza propulsiva nel suo complesso.
L'applicazione dell'oleodinamica sulle imbarcazioni è molto vasta, si hanno infatti trasmissioni a fluido per verricelli, salpa ancore, portelloni, timoni, eliche di manovra.
Le trasmissioni oleodinamiche constano in generale di componenti operatori (quali pompe), linee di trasmissione e componenti attuatori (cilindri e motori oleodinamici).

2.7 L'impianto oleodinamico

Partendo dagli impianti più semplici fino ad arrivare a quelli più complessi e controllati da sofisticati sistemi, tutti hanno in comune lo stesso principio di funzionamento: sfruttare la potenza meccanica fornita da una sorgente e renderla disponibile ad una serie di utenze di differente tipo, poste a differenti distanze, e con opportune sequenze, sincronismi, contemporaneità e tempi di applicazione. La sorgente della potenza può essere rappresentata da un uomo (valori massimi di potenza intorno a qualche centinaio di watt) oppure da un motore, la pompa oleodinamica trasferisce la potenza al fluido che a sua volta la trasferisce ad attuatori idraulici rappresentati da motori oleodinamici o cilindri, a loro volta connessi alle utenze. Gli impianti si completano poi di valvole, distributori, serbatoi, filtri, scambiatori di calore, indicatori e misuratori.

2.7.1 La pompa oleodinamica

Si tratta di una macchina operatrice che trasporta un liquido secondo leggi volumetriche, generando un flusso detto portata, che in presenza di una resistenza entra in pressione. La funzione della pompa è di convertire la potenza meccanica erogata dal motore primo in potenza idraulica proporzionale al prodotto portata per pressione.
Le pompe si dividono in base al loro principio di funzionamento in due grandi famiglie: quella delle pompe centrifughe, in cui al liquido è ceduta energia per effetto dell'accelerazione conferitagli, e quella delle pompe volumetriche, in cui l'energia è ceduta spingendo il liquido, relegato in una camera chiusa quale un cilindro, nella condotta in pressione.
Le prime non interessano in genere alle applicazioni dell'oleodinamica poiché esprimono il loro massimo rendimento a portate in genere troppe alte, e pressioni non sufficientemente elevate per i circuiti idraulici.
Le pompe volumetriche sono caratterizzate da camere chiuse di pompaggio e quindi se il regime rimane costante la portata è fissa ed indipendente dalla pressione che si genera nel circuito. Esse sono in grado di creare pressioni di mandata molto elevate con alte portate. Mentre alla pompa va imputata la portata che si instaura nel circuito, per quanto riguarda la pressione va rammentato che è il carico sull'utilizzatore a regolarla; la pompa si limita a sostenerla continuando a generare il flusso. In ogni caso però la pressione non deve superare il limite di tenuta della pompa, pena il danneggiamento della pompa stessa. A tale scopo i produttori indicano, accanto alla massima pressione in esercizio continuo, anche la pressione di punta che può essere

sostenuta per una breve durata; ovviamente la corrispondente potenza assorbita dal motore non deve sovraccaricarlo oltremisura.
Indicando con p [Pa] la pressione presente nel circuito mentre viene generata la portata volumetrica Q [m^3/s], la potenza P [W] fornita dalla pompa al fluido è pari a:

$$P = p \cdot Q \tag{3.1}$$

e se con η_p si indica il rendimento della pompa, la potenza richiesta al motore primo indicata con P_M [W] è pari a:

$$P_M = \frac{P}{\eta_P} \tag{3.2}$$

Nelle applicazioni navali il motore primo può essere elettrico asincrono a regime fisso (per navi di una certa entità), oppure a combustione interna. In quest'ultimo caso il campo di lavoro della macchina, in termini di velocità, è in genere abbastanza ridotto per sfruttare al meglio la massima potenza erogabile ed ottimizzare i consumi di combustibile.
Da questo si capisce che l'utilizzo di una pompa a cilindrata fissa è adatto ad applicazioni in cui la portata deve rimanere costante, se invece questo parametro deve cambiare è necessario l'utilizzo di una pompa a cilindrata variabile (un utilizzo tipico è quello negli impianti di propulsione). La regolazione può avvenire tramite un comando esterno oppure tramite una retroazione idraulica che prende il nome di load sensing (il sistema viene descritto nello specifico nella sezione 3.5.3).
Un'altra caratteristica che non può essere trascurata nella valutazione della bontà della scelta di una pompa volumetrica è la cosiddetta pulsazione di portata. La pompa volumetrica infatti non regola con continuità la mandata perché ad ogni giro le camere di trasporto trasferiscono il fluido con una portata istantanea variabile. All'aumentare del numero di camere di trasporto che lavorano contemporaneamente diminuisce l'irregolarità. Questo non rappresenta un problema per quanto riguarda gli impianti in oggetto in quanto il volume di fluido spostato dalla pompa durante un ciclo completo è alcuni ordini di grandezza inferiore rispetto all'intero volume di olio presente, inoltre le velocità di rotazione elevate determinano una pulsazione di portata a frequenze ben superiori rispetto alle dinamiche degli elementi presenti nel sistema.
La scelta della pompa va effettuata a partire dalla portata massima da garantire all'utilizzatore per ottenere la velocità desiderata, valore ottenibile una volta note la cilindrata di quest'ultimo. In secondo luogo, in virtù della forza o coppia resistente all'utilizzatore, deve valutarsi la pressione massima che si instaura nel sistema per valutare che essa assuma valori ragionevoli e adatti alla tipologia dei componenti.

Inoltre bisogna valutare la contemporaneità di interventi delle singole utenze, il tipo ed il regime di rotazione del motore primo prescelto e l'accoppiamento con la pompa (con o senza riduttore). Ulteriori considerazioni riguardano il tipo di fluido idraulico impiegato, il campo di variazione della temperatura d'esercizio e la conseguente variazione di viscosità del fluido, rumorosità accettabile, limiti di peso e ingombro, affidabilità e durata, costi d'acquisto e manutenzione.
Un discorso specifico merita il rendimento (η_p) che permette di quantificare le perdite di energia all'interno della macchina. Esso è il risultato del prodotto dei rendimenti parziali quali il rendimento volumetrico, il rendimento idraulico e il rendimento meccanico. Il primo quantifica le perdite dovute al fatto che la portata di mandata è minore di quella aspirata a causa di perdite per trafilamento tra i componenti interni alla pompa. Il secondo quantifica le perdite di energia che subisce il fluido nell'attraversare i condotti all'interno della macchina. Infine il rendimento meccanico quantifica le perdite per attrito fra le parti in movimento. Questi parametri sono strettamente legati al tipo ed alle caratteristiche della macchina.
Sono di interesse in questo campo di applicazione le pompe ad ingranaggi e le pompe a pistoni. Le prime sono le più semplici e diffuse che si possono trovare. Il loro successo è dovuto ad una serie di caratteristiche quali la notevole leggerezza, la semplice meccanica, la compattezza, la tollerabilità alle variazioni di viscosità, la facilità di montaggio, la tollerabilità di un ampio campo di regimi, l'ottima aspirazione ed il basso costo. Tali pompe vengono collegate direttamente all'asse motore e forniscono portate dipendenti esclusivamente dalla velocità dell'asse, uno dei maggiori svantaggi che presentano è proprio l'impossibilità di regolazione della cilindrata. Bisogna poi sottolineare un rendimento complessivo piuttosto modesto (non superiore a 0,7) dovuto ai trafilamenti dell'olio che abbassano il rendimento volumetrico e alle dissipazioni di energia dovuta allo strisciamento tra i denti delle ruote dentate. Un aspetto importante di queste macchine è rappresentato dal fatto che sull'asse si scaricano forze nette che, benché possano essere bilanciate, costituiscono un limite alla crescita delle pressioni di lavoro. Trovano impiego nella ricircolazione del fluido, nella lubrificazione e nei circuiti ausiliari delle pompe a pistoni. Un tipo particolare di pompa ad ingranaggi è la pompa a lobi, in cui due ruote dentate, una conduttrice ed una trascinata, fanno ruotare due rotori trilobati che, rimanendo sempre in contatto, trasferiscono il fluido nei meati formati con la cassa. Tra le pompe ad ingranaggi sono le più semplici e quelle con caratteristiche inferiori.
Nelle pompe a pistoni gli elementi operativi sono appunto i pistoni che, disposti in maniere diverse rispetto all'asse motore, trasferiscono il fluido dall'aspirazione alla mandata spostandosi all'interno dei propri cilindri. Il raggiungimento di pressioni elevate, le notevoli portate, l'ottimo rendimento e la possibilità, nelle versioni a

cilindrata variabile, di precise regolazioni, le rendono le più adatte a questi tipi di impianti. Si tratta però di macchine complesse con più alti costi di produzione e manutenzione. Le due tipologie di base sono rappresentate dalle pompe a pistoni assiali e da quelle a pistoni radiali. Le prime hanno i cilindri allineati e disposti in circonferenza in un blocco cilindri detto barilotto. Si possono avere diverse soluzioni costruttive: con blocco cilindri inclinato o a piatto inclinato. Questi sistemi permettono di trasformare un moto rotatorio in un moto lineare. Questo tipo di pompe si presta alla regolazione automatica della pressione e della potenza con sistemi idraulici o elettro-idraulici integrati. Nelle pompe con pistoni radiali i cilindri sono disposti a stella su un piano perpendicolare all'asse di rotazione della macchina. Una tipologia costruttiva prevede la presenza di un blocco stellare fisso messo in movimento da una camma posta sull'albero. Le pressioni d'esercizio sono in assoluto le più alte (fino a 70 MPa) ma in genere le portate sono ridotte.
Complessivamente queste macchine garantiscono un'ottima affidabilità, compattezza, robustezza e alti valori di rendimento grazie all'ottima tenuta tra pistoni e cilindri che minimizza il trafilamento dell'olio migliorando il rendimento volumetrico.
Esse vengono collegate direttamente al motore primo e possono anche venire disposte in serie (utilizzando pompe con albero passante) per sfruttare al meglio la potenza disponibile e soddisfare i diversi fabbisogni di portate delle differenti tipologie di utenze che costituiscono l'impianto.

2.7.2 Gli attuatori

I componenti attuatori di un circuito oleodinamico possono essere motori idraulici o cilindri. I primi sono macchine motrici volumetriche, che alimentate da un flusso di liquido erogato dalla pompa sviluppano sull'albero un regime di rotazione e una coppia.
I cilindri invece sviluppano una forza ed un velocità.
La funzione di questi componenti è di convertire la potenza idraulica erogata dalla pompa in potenza meccanica proporzionale al prodotto di forza per velocità.
Per quanto riguarda i motori oleodinamici, essi svolgono la funzione speculare della pompa. Il liquido viene introdotto attraverso l'attacco d'alimentazione e agisce sulle parti attive (ingranaggi, palette, pistoni assiali o radiali) generando una componente tangenziale utile che imprime all'albero un regime di rotazione e una coppia motrice. In generale queste macchine possono essere distinte in due categorie: quella dei motori "lenti" e quella dei motori "veloci". Un motore veloce funziona soddisfacentemente in una gamma di regimi che a titolo indicativo può variare tra 314 e 3,14 rad/s, mentre i motori lenti hanno un campo di operatività di un ordine di

grandezza inferiore. Al di fuori del campo di regimi consigliato del produttore si possono manifestare irregolarità di velocità, perdite energetiche consistenti e danneggiamento della macchina stessa. Gli elementi che meglio caratterizzano un motore oleodinamico sono la coppia erogabile ed i regimi di rotazione. La prima è proporzionale alla differenza di pressione fra gli attacchi, i secondi dipendono dalla portata erogata dalla pompa di alimentazione e dalla cilindrata del motore stesso [6].
La potenza idraulica immessa nel motore N_i si converte in potenza meccanica N_m e in potenza perduta N_p:

$$N_i = N_m + N_p \tag{3.3}$$

si può definire il rendimento totale come:

$$\eta = \frac{N_m}{N_i} \tag{3.4}$$

Esattamente come per le pompe la potenza persa si divide in perdite volumetriche, perdite meccaniche e perdite di pressione. L'entità di questi effetti è strettamente legata alla tipologia costruttiva della macchina stessa, a ingranaggi, a pistoni assiali, a pistoni radiali, in generale valgono le stesse considerazioni spiegate nel paragrafo precedente per le pompe.
Una prerogativa fondamentale dei motori oleodinamici è la capacità di sviluppare anche da fermi una coppia di adeguata intensità (coppia allo spunto) capace di vincere la coppia resistente e di avviare il sistema: questa esigenza, categorica nelle applicazioni che richiedono appunto una coppia resistente iniziale, è sempre rispettata dalle costruzioni a pistoni mentre non lo è nel caso dei motori a palette o ad ingranaggi provvisti di bronzine di bilanciamento, dove per l'assenza iniziale di pressione le bronzine stesse non riescono ad aderire ai fianchi del rotore per fare la tenuta occorrente alla creazione della coppia di avviamento. Per questa ragione la costruzione che consente i migliori risultati appare quella a pistoni.
La scelta del motore dipende dai seguenti parametri: potenza erogabile massima, coppia erogabile massima, campo di regimi ammesso, grado di regolarità richiesto dal regime rotatorio, limiti di pressione, variabilità del regime quando richiesta. Inoltre bisogna considerare il tipo di applicazione, la portata massima erogabile dalle pompe, regime fisso o variabile, la massa e l'ingombro. Di grande interesse per la scelta sono i grafici delle "ellissi di isorendimento" forniti dai costruttori.
I cilindri sono attuatori lineari con differenti tipologie costruttive. La più comune è quella a semplice o doppio effetto con stelo singolo [6].

Sono costituiti da un mantello cilindrico al cui interno scorre il pistone messo in movimento dalla pressione dell'olio. Ad esso è vincolato lo stelo che trasmette all'esterno una forza di trazione o compressione. Il volume d'olio è racchiuso in direzione assiale dalla testata e dal fondello. Un foro di alimentazione permette al fluido di entrare ed uscire dalla camera. La tenuta fra parti fisse e mobili è assicurata da apposite guarnizioni. Sono presenti sistemi di fissaggio differenti in base alla metodologia di installazione.

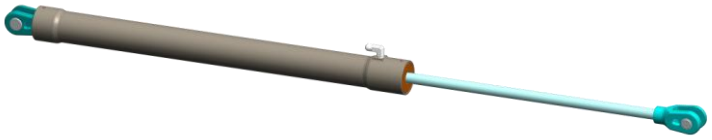


Figura 2.5. Cilindro a singolo effetto per mettere in tensione la base della randa.

Negli attuatori a semplice effetto la pressione comanda solo il movimento d'uscita o solo il movimento di rientro sviluppando solo la forza di spinta oppure la forza di tiro. Il movimento in senso opposto è comandato da una molla o dall'espansione di un gas.
In quelli a doppio effetto la pressione comanda il movimento in entrambi i sensi [6].
I parametri principali che caratterizzano un cilindro sono l'alesaggio, che rappresenta il diametro interno del mantello, e la corsa ossia il massimo spostamento dello stelo. Essi determinano le dimensioni della camera, che definisce il volume di olio necessario, e la superficie del pistone, che per una data pressione definisce la forza generata. Naturalmente per il calcolo delle grandezze appena citate bisognerà sottrarre la corrispondente area e volume dello stelo.

2.7.3 La linea di trasmissione

Pompe e motori possono essere variamente combinati (con l'aiuto di organi quali valvole di distribuzione, di sicurezza, di aspirazione) per formare una trasmissione completa. In effetti una "trasmissione" si realizza ogni qualvolta si genera in una pompa dell'energia idraulica e la si riconverte in energia meccanica in un utilizzatore.
Questa tecnica permette la trasmissione di potenza da qualche kW fino a parecchie centinaia di kW. Rispetto ai dispositivi meccanici ed elettromeccanici offre una serie di vantaggi quali: eliminazione di giunti e frizioni, controllabilità e variabilità di coppia e di regime pressoché immediate, accelerazione e frenatura rapidissime e senza danno per le strutture meccaniche, possibilità di distanziamento fra generatore e utilizzatore

senza problemi di interconnessione meccanica, limitazione e regolazione della potenza, invertibilità dei moti finali.
L'elemento fondamentale della linea di trasmissione è il fluido contenuto nelle tubature del circuito. Si tratta di olio minerale di origine petrolifera con additivi polimerici per esaltare determinate caratteristiche chimico-fisiche. Quest'olio possiede un elevato potere lubrificante, non è corrosivo, non lascia depositi ed alle temperature di esercizio non presenta problemi di evaporazione. L'olio adatto al circuito deve avere una viscosità bassa ed il più possibile indipendente dalla temperatura. Per gli impianti in questione si raccomanda un olio con un valore di viscosità cinematica[(1)] intorno 40 m^2/s a 40 °C .
Il collegamento degli elementi oleodinamici si basa sull'impiego di tubi, raccordi e flange e richiede semplicemente che i componenti da collegare siano muniti di attacchi filettati o flangiati.
I tubi di collegamento si distinguono sostanzialmente in due famiglie: rigidi e flessibili. Alla prima categoria appartengono i tubi in acciaio per alte pressioni. Un parametro fondamentale del tubo è il diametro interno (noto come "diametro nominale") soggetto presso i costruttori ad una normalizzazione precisa. Quando alcuni degli apparecchi da alimentare modificano la loro posizione rispetto agli altri durante l'esercizio, quando le macchine sono soggette a vibrazioni e quando sono necessarie geometrie particolari, si ricorre alle tubazioni flessibili che, pur sopportando valori di pressione elevati, possono facilmente flettersi sotto l'azione di piccoli sforzi assumendo le più diverse conformazioni. La struttura di tubi del genere è basata su una disposizione alterna di strati di gomma telata e di guaine d'acciaio a maglie intrecciate o fibra di carbonio. A seconda del campo di pressioni cui il tubo è destinato, sono previste esecuzioni a una o più guaine o strati. Per i collegamenti ai raccordi e agli organi sono provvisti alle estremità di manicotti terminali filettati. Particolare cura va posta nella scelta dei raggi di curvatura durante la fase di montaggio.
La scelta del tubo sarà figlia dei massimi valori di pressione di lavoro e di portata richiesta. Soprattutto per impianti grandi, complessi e con molte utenze, si deduce come le linee di aspirazione e di mandata della pompa necessitino di diametri decisamente più grandi rispetto a quelli dei tubi relativi alle singole utenze. Questo permetterà di incrementare le portate e di diminuire le perdite distribuite lungo la linea. Le linee di mandata alle utenze avranno pressioni molto elevate con tubazioni ad alta resistenza, le linee di ritorno e di drenaggio saranno costituite da tubi più sottili nello spessore e meno resistenti.
Per collegare i tubi ai componenti dell'impianto si utilizzano raccordi con filettatura interna pressati sui tubi e raccordi con filettatura esterna avvitati ai componenti. In

[(1)] Rapporto tra viscosità dinamica e densità di un fluido (m^2/s).

questo modo viene garantita la perfetta tenuta dell'olio, un montaggio ed uno smontaggio agevoli.
Per conferire all'impianto la flessibilità alle diverse esigenze di esercizio richieste dagli utilizzatori si utilizzano dei distributori (chiamati anche "valvole di direzione"). Si tratta di commutatori che, spostandosi su un numero limitato di posizioni fisse, interrompono, aprono, commutano il flusso fra i loro attacchi. Le grandezze che caratterizzano un distributore sono il numero di vie, che definisce i tipi di collegamento che esso permette di realizzare, ed il numero di posizioni, che definisce il numero delle varianti di collegamento. In generale la funzione di distribuire in vari modi un flusso l'olio presuppone l'esistenza di un corpo fisso dotato di un opportuno numero di attacchi e di cavità interne, entro il quale si sposta per comando esterno uno o più elementi mobili capaci di aprire determinati passaggi e di chiuderne altri. Il sistema più diffuso è quello che adotta come elemento mobile un "pistone" o "cursore" cilindrico provvisto di gole e forature appropriate, scorrente linearmente in una cavità a sua volta provvista di gole e passaggi ricavati nel corpo fisso. In questo modo è possibile realizzare i collegamenti voluti tra una serie di condotte del corpo facenti capo agli attacchi presenti sulle facce esterne. Un interesse pratico notevole hanno acquisito i raggruppamenti longitudinali di più distributori in banchi di distribuzione. Si tratta di costruzioni compatte, ottenute con un certo numero di elementi base componibili racchiusi fra due testate terminali e tenuti insieme da tiranti. Tale struttura permette di ridurre notevolmente l'ingombro e soprattutto di eliminare raccordi e tubi per i reciproci collegamenti dei singoli distributori che sono realizzati semplicemente attraverso le facce contrapposte dei singoli elementi con tenute a o-ring statici. Per applicazioni specifiche si può realizzare l'intero corpo del banco in un unico blocco. Questa tecnica, che naturalmente elimina i vantaggi economici della componibilità strutturale, è particolarmente adatta nel campo dell'alta pressione. L'assenza di tiranti e l'elevata rigidità meccanica dei banchi monoblocco rendono minimi i trafilamenti. Una volta prefissata la funzione idraulica, gli altri elementi determinanti per la scelta di un distributore sono il valore della portata che lo deve attraversare e la pressione massima di esercizio. Indipendentemente dal criterio costruttivo un distributore necessita sempre di un dispositivo atto a comandare gli spostamenti delle parti mobili e a fargli conseguentemente assumere i diversi posizionamenti previsti. Tale dispositivo caratterizza il sistema di azionamento del distributore. Si hanno azionamenti manuali, pneumatici, oleodinamici, elettromagnetici diretti ed elettropilotati. Questi ultimi due tipi sono di grande interesse perché permettono di realizzare impianti automatizzati comandati elettricamente. Negli azionamenti elettromagnetici la forza di posizionamento è sviluppata direttamente da elettromagneti di adeguare proporzioni;

nel caso degli azionamenti elettropilotati, invece, l'elettromagnete conferisce l'impulso di comando, mentre l'azione vera e propria viene sviluppata da un dispositivo oleodinamico. Quest'ultima modalità si ritiene indispensabile quando le luci di passaggio superano determinati valori (20 mm) soprattutto per evitare la necessità di montare grossi elettromagneti.
La principale forma di disfunzione cui possono andare incontro questi componenti riguarda il bloccaggio del cursore. Diverse possono esserne le cause: inquinamento del liquido circolante che può presentare particelle abrasive in grado di incastrasi nel gioco tra cursore e sede, deformazione termica causata da eccessivi riscaldamenti localizzati. Bloccaggi per eccentricità tra cursore e sua sede possono essere eliminati adottando strette tolleranze di lavorazione.
Una descrizione più dettagliata meritano le valvole, ne esistono di svariati tipi con differenti caratteristiche e impieghi, svolgono quattro funzioni: controllo della pressione, controllo della portata, bloccaggio e controllo della direzione del flusso [6].

2.7.4 Valvole di bloccaggio

In un impianto oleodinamico può presentarsi per varie ragioni la necessità di rendere un determinato ramo percorribile dal flusso in un senso e di bloccarlo automaticamente nel senso opposto. La valvola di bloccaggio consente il flusso in un senso e lo blocca a perfetta tenuta nel senso opposto. Ne esistono di due differenti tipologie: le valvole di ritegno semplici e le valvole di ritegno sbloccabili. Costruttivamente sono costituite da un elemento mobile su sede conica (sfera o cono), il quale si solleva dalla sede se assoggettato ad un flusso nel verso appropriato ed entra invece in battuta interrompendo la vena liquida se il verso di flusso tende ad invertirsi; l'impulso iniziale per la chiusura può provenire dall'opera di una molla. La valvola sbloccabile possiede in aggiunta un pistone di sblocco pilotato dalla pressione che permette di aprire il flusso anche nel senso normalmente bloccato [6].

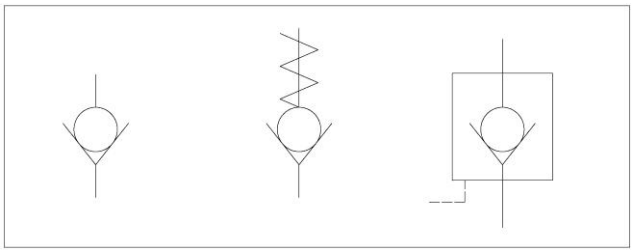


Figura 2.6. Simboli di valvole di non ritorno: da sinistra a destra valvola semplice (senza e con molla) e valvola sbloccabile.

2.7.5 Valvole regolatrici di pressione

Comprendono fondamentalmente le valvole di massima pressione (dette anche limitatrici di pressione), le valvole riduttrici di pressione, le valvole di strozzamento e le valvole di sequenza (inserzione o disinserzione).
La valvola di massima pressione ha la funzione, fondamentale per la sicurezza dell'impianto, di aprire una comunicazione tra la condotta in pressione (alla quale è collegata la derivazione) ed il serbatoio al raggiungimento di un valore di pressione prestabilito a piacere. Si evitano in questo modo danni agli organi e alle tubazioni che potrebbero derivare un da incontrollato aumento della pressione. Le valvole limitatrici sono disponibili nelle versioni ad azione diretta e ad azione pilotata. Le prime sono costituite da un corpo nel quale è alloggiato un otturatore a cono (1) o a sfera appoggiato su una sede e contrastato da una molla (2) tarabile con volantino per modificare il precarico e impostare la pressione d'apertura. L'otturatore è collegato ad un pistoncino (3) che grazie ad un ugello di strozzamento (4) smorza le oscillazioni durante lo scarico in mancanza del quale la valvola mostrerebbe una tendenza alle vibrazioni con elevata rumorosità e con il pericolo di danneggiare altri organi dell'impianto per una persistente oscillazione ad alta frequenza della pressione.
L'otturatore è compresso fra la forza della molla e la forza generata dal prodotto della pressione per la sezione di chiusura dell'otturatore. Quando la seconda supera la prima, la molla cede e l'otturatore si solleva, scaricando attraverso una luce di passaggio (5) una massa d'olio sufficiente a limitare la pressione.

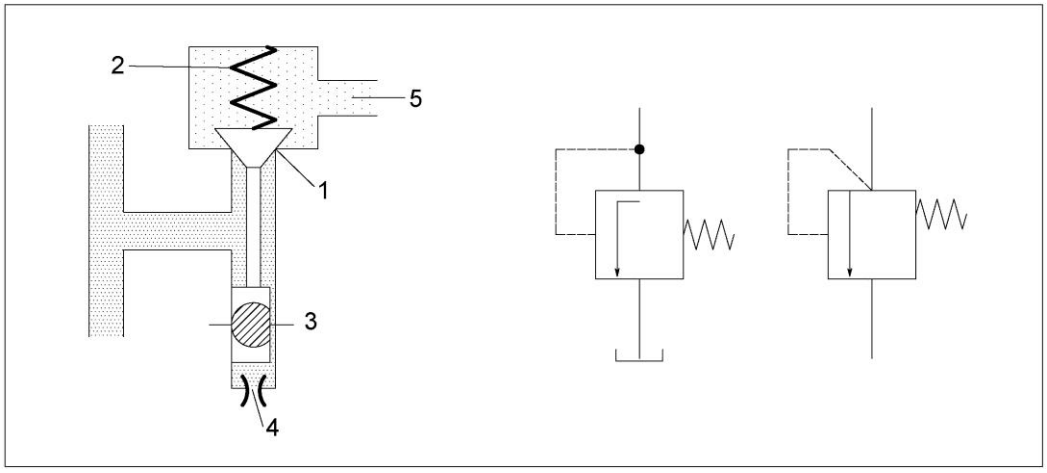


Figura 2.7. A sinistra schema valvola limitatrice ad azione diretta con otturatore a cono, a destra simboli grafici.

Fra i requisiti di una valvola del tipo descritto, oltre all'assenza di vibrazioni, vi è quello della prontezza di reazione, che si traduce in un breve tempo di apertura (dell'ordine di alcuni centesimi di secondo); occorre inoltre che la pressione di apertura non venga influenzata sensibilmente dalla portata e dalla viscosità e che la tenuta in condizioni di riposo sia perfetta.

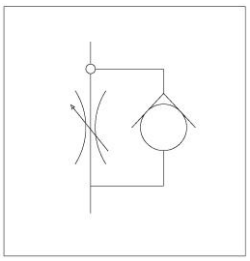
Quando la portata da scaricare e la pressione massima di taratura richiesta divengono rilevanti, la valvola ad azione diretta non è più conveniente; la sua costruzione infatti richiederebbe l'impiego di una molla di dimensioni ingenti con relativi inconvenienti di ingombro, difficoltà di taratura e lentezza di risposta. Si adotta allora la valvola di massima pressione pilotata nella quale il ruolo della molla di contrasto viene sostituito da quello di una pressione. In questo modo la pressione di scarico è meno influenzata dalla portata scaricata. Per entrambi i tipi di valvole la pressione di chiusura risulta in genere inferiore di 100÷200 kPa rispetto alla pressione di apertura.

Al gruppo delle valvole di controllo pressione appartiene anche la valvola riduttrice. Questa serve a produrre tra l'ingresso e l'uscita una diminuzione tale da mantenere costante il valore di pressione nel circuito a valle indipendentemente dalla pressione a monte. A questo scopo la valvola genera una caduta di pressione variabile fra monte e valle attraverso lo spostamento automatico del proprio cursore nella sede, in modo da strozzare più o meno il passaggio fra i rami di alta e di bassa pressione.

A differenza della valvola limitatrice la valvola riduttrice non va mai collegata a scarico, bensì in linea fra due rami attivi, di cui anche quello a valle deve essere in pressione. Nella variante ad azione pilotata è presente un drenaggio continuo, indispensabile all'azione del pilota, che va scaricato al serbatoio.

La valvola di strozzamento può considerarsi sotto determinati aspetti una valvola di riduzione pressione, in quanto determina una riduzione di pressione fra ingresso e uscita. Ma mentre la valvola di riduzione produce una diminuzione di pressione indipendente dall'entità della portata e tale da lasciare comunque costante la pressione a valle, la valvola di strozzamento determina una caduta di pressione che oltre a dipendere dalla portata, non mantiene necessariamente costante la pressione a valle; è inoltre indispensabile che esista effettivamente un passaggio di liquido poiché in condizioni statiche la valvola di strozzamento non ha alcuna influenza sulla pressione. Nella versione più elementare è costituita da un semplice restringimento a sezione fissa. Negli impianti oleodinamici si presenta frequentemente la necessità di utilizzare uno strozzamento solo per un verso del flusso, escludendo invece la sua azione quando il verso viene invertito: tale risultato si ottiene disponendo in parallelo allo strozzamento una valvola di ritegno.

Figura 2.8. Schema valvola di strozzamento e ritegno.



Tra le funzioni richieste da determinati circuiti vi è quella di realizzare l'apertura o la chiusura di un passaggio in funzione del raggiungimento di un determinato valore della pressione di esercizio. A ciò provvede la valvola di sequenza la quale apre il passaggio fra monte e valle quando la pressione di monte raggiunge il valore di taratura. Viene utilizzata per diversi scopi tra cui: generazione di una successione temporale nell'alimentazione di due rami del circuito in funzione della pressione d'esercizio e della propria taratura, ad esempio per attivare secondo un ordine prefissato diverse utenze; mantenimento della pressione in un ramo anche in assenza di pressione a valle; messa a scarico di pompe, ad esempio se ci sono pompe distinte dedicate alla bassa ed all'alta pressione [6].

2.7.6 Valvole regolatrici di portata

Esse servono a ridurre una portata in arrivo ad un valore inferiore e costante. Poiché il funzionamento di queste valvole è autocompensato rispetto alle pressioni in gioco, vengono chiamate anche regolatori di flusso compensati. Il regolatore di flusso provoca lo scarico al serbatoio di una quota costante della portata in arrivo e consente quindi di impostare la velocità lineare di un cilindro o il regime di rotazione di un motore ad un valore fisso e inferiore a quello che corrisponderebbe alla piena portata, ossia a realizzare un controllo in velocità. Se la pompa di alimentazione ha cilindrata variabile, il controllo di velocità dell'utenza si potrebbe ottenere anche riducendo la cilindrata. Questa soluzione non può essere applicata se le utenze sono più di una e le rispettive velocità vanno controllate singolarmente. In queste condizioni la soluzione più comune consiste nell'installazione di un regolatore di flusso per ogni utenza [6].

2.8 Esempio di impianto oleodinamico per imbarcazione a vela di medie dimensioni

Sfruttando le potenzialità offerte dell'oleodinamica è possibile trasformare una barca a vela, anche di ingenti dimensioni, in un "oggetto" facile da gestire, sicuro, adatto ad essere governato da un numero ridotto di persone e con un basso sforzo fisico. Unendo all'oleodinamica un sistema di controllo elettronico è possibile automatizzare l'intero sistema. Questo si sposa con la filosofia dell'azienda Cariboni Srl denominata "easy sailing".
Nell'esempio qui riportato (schema in figura 2.9) si vogliono mostrare le caratteristiche di un impianto nel suo complesso, per la descrizione dei singoli componenti ci si riferirà all'apposita sezione.

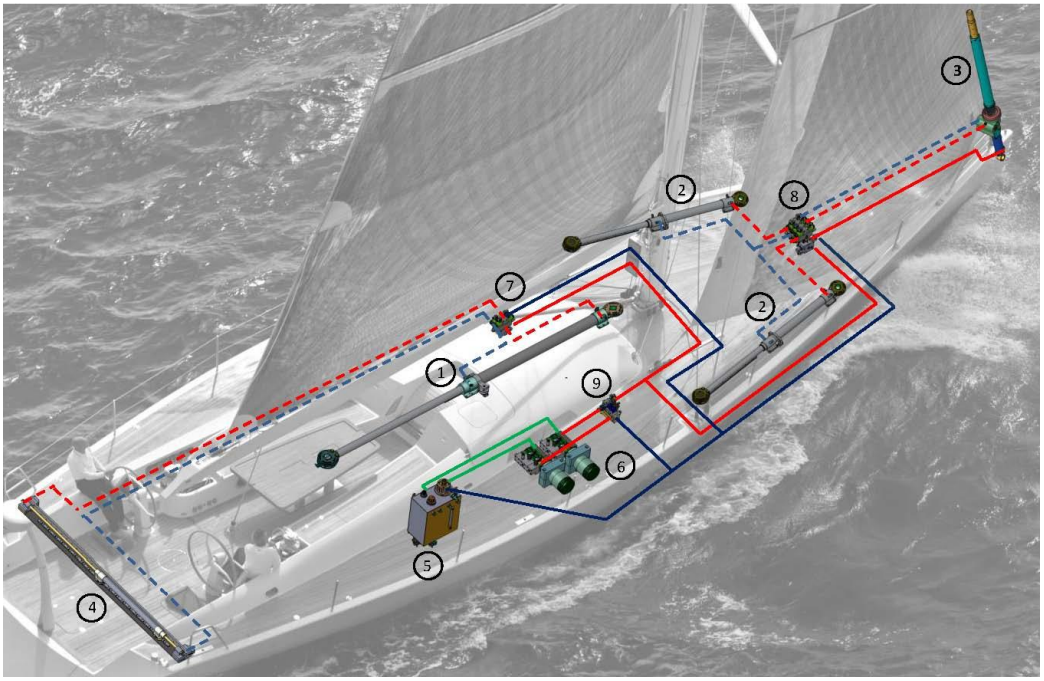


Figura 2.9. Schema di impianto oleodinamico per imbarcazione a vela di tipo crociera veloce con lunghezza intorno ai 20 metri.

L'impianto è costituito da:

(1) Un cilindro a doppio effetto dedicato alla scotta della randa. Garantisce regolazioni ad alta velocità in tesatura e rilascio. Sensori lineari integrati al cilindro garantiscono il pieno controllo della funzione.

(2) Due cilindri a doppio effetto dedicati alla scotta del fiocco. Garantiscono regolazioni ad alta velocità in tesatura e rilascio. E’ presente un sistema di virata che li muove simultaneamente in maniera automatica sfruttando i segnali provenienti da sensori integrati ai cilindri.
(3) Un avvolgifiocco idraulico con tensionatore dello strallo di prua integrato.
(4) Un carrello della randa idraulico.
(5) Un serbatoio dell’olio in alluminio atto a garantire lo smaltimento del calore.
(6) Due motori elettrici con potenza di 4500 W ciascuno collegati a pompe ad alta pressione per controllare la randa ed il fiocco in maniera simultanea.
(7) Un collettore in alluminio per controllare il cilindro della randa ed il trasto.
(8) Un collettore in alluminio per controllare i cilindri del fiocco, il suo avvolgitore ed il tensionatore dello strallo.
(9) Un collettore in alluminio con controllo proporzionale della velocità per una regolazione precisa di tutte le funzioni.

Tutte le manovre possono essere agilmente comandate tramite pulsanti posizionati in prossimità della ruota del timone.

Figura 2.10. Esempio di pulsantiera fornita dall’azienda Cariboni Srl.

Capitolo 3

L'impianto oleodinamico dell'imbarcazione Wally 100' Magic Carpet Cubed

L'imbarcazione *Wally 100' Magic Carpet Cubed* (in seguito MC^3) è il risultato di un importante progetto frutto della collaborazione fra lo studio di progettazione Reichel Pugh e la società Wally. Si tratta di un progetto cosiddetto "one off" che prevede la costruzione di un esemplare unico realizzato in base alle specifiche dettate dalla classe WallyCento ed alle richieste del cliente.
Uno degli aspetti sul quale i progettisti si sono maggiormente concentrati è stato senza dubbio il contenimento delle masse, questo è stato possibile ricorrendo ai più sofisticati materiali compositi ed alle più sofisticate tecnologie di realizzazione. Inoltre è stata prestata grande attenzione alla massa delle singole parti compresi gli elementi costituenti l'arredamento interno.

3.1 La classe WallyCento

Si tratta di un perfetto connubio fra alta tecnologia, prestazioni in regata, disponibilità di spazio e comfort degli interni. Questa classe si contraddistingue per la lunghezza della barca fissata (prossima a 30 m) e per uno stretto regolamento denominato "box rule" che fissa le caratteristiche del progetto nel dettaglio. Questo per garantire prestazioni equiparabili durante le competizioni e rendere le regate più serrate ed avvincenti.
Utilizzando materiali compositi di ultima generazione per la realizzazione dello scafo, queste barche possono superare i 12 m/s nelle andature di bolina pur mantenendo una grande maneggevolezza e facilità di controllo.

3.1.1 Regole di costruzione generali

L'imbarcazione deve essere costituita da un unico scafo, di qualsiasi materiale, con lunghezza compresa fra 30 m e 30,48 m e larghezza compresa fra 6,50 m e 7,20 m. La lunghezza massima della linea d'acqua non deve superare i 29,5 m, mentre la sporgenza di prua, che è definita come la distanza orizzontale tra il punto più avanzato dello scafo ed il punto più avanzato della linea d'acqua, non deve superare 0,2 m. Lo

specchio di poppa deve avere un'inclinazione minima di 4° rispetto all'asse verticale. Per quanto riguarda la massa complessiva, essa deve essere compresa fra 45000 kg e 50000 kg. La massima distanza fra la linea d'acqua ed il punto più basso dell'imbarcazione prende il nome di pescaggio, nel caso la barca sia dotata di chiglia fissa il suo valore non deve risultare superiore a 5 m, mentre nel caso in cui la chiglia sia mobile lo stesso valore deve essere compreso tra 4,5 m e 6,2 m. Il timone può essere unico oppure possono essere due, in quest'ultimo caso devono essere montati sullo stesso piano trasversale. Daggerboard[(1)], alette canard[(2)] e serbatoi dell'acqua utilizzati come zavorra non sono permessi. In merito all'attrezzatura il regolamento vieta l'utilizzo di alberi in grado di inclinarsi o ruotare. Inoltre prescrive le principali dimensioni dei suoi elementi costituenti ed in particolare: la lunghezza dell'inferitura della randa deve essere compresa fra 42 m e 43 m, la lunghezza della sua base deve essere compresa tra 13,5 m e 14 m, l'altezza del boma rispetto al piano della coperta deve essere compresa tra 2,4 m e 3 m, la distanza orizzontale tra l'albero e la base dello strallo di prua deve essere compresa tra 11,5 m e 12 m.
La tipologia degli interni influenza notevolmente il progetto dell'intera barca in quanto determina il posizionamento degli elementi strutturali dello scafo e la definizione della sala macchine. Le regole di classe fissano anche questi aspetti, in particolare sanciscono le caratteristiche ed il numero di alloggi, gli equipaggiamenti di comfort interni e gli spazi da destinarsi a dispense.

3.1.2 Regole che hanno coinvolto il progetto dell'impianto oleodinamico

L'imbarcazione deve essere equipaggiata con almeno un motore endotermico a ciclo diesel in grado di funzionare in maniera continuativa e garantire una velocità di crociera pari a 5,2 m/s (10 nodi). E' possibile prevedere un sistema di sollevamento del sistema di propulsione all'interno della sagoma dello scafo.
Devono essere poi presenti opportuni impianti elettrici o idraulici dedicati al funzionamento dei verricelli ed alla regolazione delle vele e dell'attrezzatura. In particolare è obbligatoria la presenza di un avvolgifiocco automatico, idraulico o elettrico.
L'albero può essere armato con due volanti controllate da un sistema di cilindri idraulici oppure da verricelli motorizzati. Un sistema di ripristino manuale deve essere

[(1)] Derive mobili con profilo asimmetrico disposte lungo i lati dell'imbarcazione e necessarie a produrre una forza di portanza idrodinamica.
[(2)] Deriva mobile con profilo simmetrico disposta lungo l'asse centrale dell'imbarcazione e necessaria a garantire una forza di portanza idrodinamica.

in grado di intervenire sul sistema in caso di pericolo. Esso provvederà a rilasciare la tensione sulle manovre in maniera rapida.
La barca può essere equipaggiata con un sistema di sollevamento della chiglia ma sono vietate le chiglie basculanti e rotanti.
Per quanto riguarda la generazione di energia elettrica ogni imbarcazione deve essere dotata di un sistema in grado di sviluppare una potenza pari a 12 kW o superiore. Questa è destinata all'alimentazione degli apparecchi elettrici, alcuni dei quali obbligatori; in particolare dovranno essere installati un sistema di condizionamento dell'aria, un forno da cucina, un frigorifero, un freezer ed un sistema di riscaldamento dell'acqua.
Infine un dissalatore con capacità pari a 0,03 dm^3/s completa la dotazione dell'imbarcazione.
Un parametro importante che il progettista non deve trascurare è il livello di intensità sonora generato dal motore primo. Le regole di classe prevedono di misurare questo valore in condizioni di barca ormeggiata, ad un metro di distanza da essa. Durante la prova il generatore di energia elettrica deve essere attivo ed il sistema di condizionamento deve funzionare al 50% delle sue potenzialità. I valori misurati non devono superare la soglia di 65 db.

3.2 Caratteristiche generali Magic Carpet Cubed

L'MC^3 è un maxi yacht[(1)] a scafo singolo dotato di attrezzatura di tipo sloop. Si tratta di un'imbarcazione con una doppia natura: durante le regate è in grado di sfruttare l'ampia superficie velica per generare forza propulsiva anche con un vento reale di bassa intensità. In questa modalità di utilizzo l'equipaggio deve essere composto da un numero di persone compreso tra 25 e 27. Durante le crociere può essere condotta da un equipaggio ristretto a quattro membri, inoltre, l'ampia disponibilità di spazio sotto coperta, nonché la dotazione di notevoli servizi accessori, garantiscono i massimi livelli di confort e la possibilità di ospitare sei persone.

[(1)] Imbarcazioni da diporto con lunghezza superiore a 21m.

Figura 3.1. Magic Carpet Cubed durante una regata nel mar Mediterraneo.

La tabella seguente riassume le principali caratteristiche dimensionali della barca in questione.

Dimensioni	
Lunghezza scafo	30,48 m
Lunghezza linea d’acqua	29,29 m
Larghezza scafo	7,2 m
Pescaggio con chiglia sollevata	4,5 m
Pescaggio con chiglia abbassata	6,2 m
Superficie velica nell’andatura di bolina	640 m^2
Superficie velica nell’andatura di lasco	1300 m^2
Dislocamento	49950 kg
Massa chiglia	20000 kg

Tabella 3.1. Caratteristiche dimensionali Magic Carpet Cubed.

3.3 Obiettivi dell'impianto

Scopo dell'impianto oleodinamico è quello di fornire potenza a quell'insieme di congegni, attrezzature e dispositivi di servizio che di norma equipaggiano questo tipo di imbarcazioni.
Uno degli aspetti peculiari cha ha questo sistema è il fatto che tutte le funzioni sono alimentate dalla stessa fonte di potenza. Questo risulta un punto molto importante in quanto garantisce più alti livelli di efficienza ed una riduzione ragionevole delle masse. Naturalmente per raggiungere appieno questi obiettivi l'impianto dovrà essere progettato con assoluta precisione, essere realizzato con estrema cura, e per ultimo, ma non per importanza, essere regolato e messo a punto con grande accuratezza nelle fasi di collaudo.
Affidabilità e durata sono aspetti fondamentali in ambito nautico. La sicurezza delle persone che si trovano a bordo dell'imbarcazione dipende anche dall'utilizzo di tali impianti.
Tra le qualità che un buon impianto deve avere bisogna sottolineare la facilità di utilizzo e di gestione. L'equipaggio della barca non deve disporre di competenze particolari o esperienze in taluni settori per poter sfruttare al meglio e gestire con efficienza i sistemi di bordo. Sarà compito del progettista fornire agli utilizzatori tutte le informazioni necessarie all'ottimo funzionamento dell'impianto (tramite manuali, disegni, schemi) ed a preservarne la durata (definizione di controlli periodici, manutenzione programmata).

3.4 Funzionalità dell'impianto

L'intero sistema è concepito per fornire potenza ad una serie di utenze di differente tipologia. In particolare la distinzione va fatta tra: utenze lineari costituite da cilindri oleodinamici, utenze rotative costituite da motori oleodinamici. I valori delle portate richieste e l'entità delle pressioni generate dai carichi differiscono notevolmente da un utilizzatore ad un altro, compito dell'impianto sarà quello di fornire i giusti valori di questi parametri, indispensabili al corretto funzionamento dell'intero sistema.
Concettualmente l'impianto può essere suddiviso in due parti: una parte definita "alta pressione" progettata per operare a valori di pressione che possono raggiungere 70 MPa (700 bar), una parte definita "bassa pressione" progettata per operare a valori di pressione non superiori a 35 MPa (350 bar).
Quattro sono le fonti di potenza: un motore endotermico principale a ciclo diesel, un motore endotermico secondario anch'esso a ciclo diesel, due motori elettrici a

spazzole a corrente continua. Sono previste contemporaneità e modularità di funzionamento.
Queste caratteristiche sono peculiari in quanto garantisco all’impianto differenti modalità di funzionamento in base alla condizione di utilizzo dell’imbarcazione. Queste sono di seguito elencate, mentre una trattazione specifica verrà affrontata nei paragrafi successivi:

- modalità propulsiva,
- modalità regata,
- modalità intermedia regata-crociera,
- modalità elettrica,
- modalità emergenza.

Questi aspetti hanno rappresentato dei vincoli stringenti nella stesura dello schema di impianto, nella definizione dei componenti della linea di trasmissione e nella progettazione degli stessi. Ulteriori vincoli sono scaturiti dall’installazione dell’impianto a bordo della barca, soprattutto in termini di posizionamento ed ingombro dei vari componenti, alcune scelte progettuali hanno dovuto tenere conto anche di questi aspetti.

3.4.1 Funzioni veliche

La parte dell'impianto che si occupa delle funzionalità veliche è costituita da sette cilindri a singolo effetto con ritorno a gas, realizzati in lega di titanio Ti 6A1 4V, dimensionati per una pressione massima di lavoro di 70 MPa. Il sistema di alimentazione dell'olio è costituito da una serie di collettori in lega di alluminio 7075 T6 specificamente realizzati per ciascuna funzione, tubazioni in materiale composito, raccordi in lega di titanio Ti 6A1 4V per le linee di mandata, raccordi in lega di alluminio 6082 T6 per le linee di ritorno. Le linee si completano poi di distributori a comando elettromagnetico, valvole di bloccaggio, valvole limitatrici di pressione.
L'elenco completo dei cilindri con le relative caratteristiche è riportato di seguito, mentre per le funzionalità degli stessi si rimanda al capitolo 1 paragrafo 1.5.1.

Manovra	Diametro camera [mm]	Corsa pistone [mm]
Tesabase	40	400
Cunningham sulla randa	35	500
Posizione verticale vela di prua	45	1500
Posizione trasversale vela di prua	45	1500
Tenditore secondo strallo	70	400
Tenditore gennaker	50	400
Deflettore sartie volanti	60	1300

Tabella 3.2. Diametro camera e corsa pistone dei cilindri a singolo effetto.

Manovra	Diametro stelo [mm]	Carico di snervamento [N]
Tesabase	16	95697
Cunningham sulla randa	14	58860
Posizione verticale vela di prua	18	129492
Posizione trasversale vela di prua	18	129492
Tenditore secondo strallo	30	313920
Tenditore gennaker	20	166770
Deflettore sartie volanti	25	176580

Tabella 3.3. Diametro stelo e carico di snervamento dei cilindri a singolo effetto.

Manovra	Massa a secco [g]	Volume massimo olio [dm^3]
Tesabase	2600	0,42
Cunningham sulla randa	2650	0,4
Posizione verticale vela di prua	9300	2
Posizione trasversale vela di prua	8800	2
Tenditore secondo strallo	9650	1,26
Tenditore gennaker	5100	0,66
Deflettore sartie volanti	14500	3,04

Tabella 3.4. Massa a secco e volume d'olio alla massima estensione per cilindri a singolo effetto.

Nelle figure sottostanti vengono mostrati i meccanismi di comando delle manovre sopra elencate. Per aiutare la comprensione sono state inserite delle linee tratteggiante che evidenziano il percorso delle cime di comando di ciascuna manovra. Questo rende più agevole l'illustrazione del loro funzionamento.
La figura 3.2 mostra solo alcune delle manovre di cui l'imbarcazione è equipaggiata. In particolare il tesabase (1), il cunningham (2), il tenditore del punto di mura del gennaker (3) ed il tenditore del secondo strallo (4).
Il cilindro che permette di mettere in tensione la base della randa (per l'appunto chiamato tesabase (1)) è posizionato all'interno del boma e vincolato ad una paratia tramite un perno di fissaggio. Esso è collegato ad una cima che viene rinviata tramite una puleggia e collegata all'estremità poppiera della randa. Questo sistema permette l'applicazione di una forza orizzontale applicata nella parte inferiore della vela e diretta verso poppa (figura 1.9. paragrafo 1).
La stessa vela presenta un'ulteriore manovra di regolazione, definita cunningham (2), costituita da un cilindro oleodinamico posizionato al di sotto della coperta della barca. Esso mette in tensione una cima che, tramite una puleggia di rinvio, raggiunge il punto di mura della vela. Il meccanismo permette l'applicazione di una forza verticale diretta verso il basso (figura 1.9. paragrafo 2).
Per quanto riguarda le manovre che si occupano della regolazione del punto di mura del gennaker (3) e della tensione dello strallo secondario (4), entrambe sono controllate da cilindri oleodinamici posizionati presso la prua dell'imbarcazione, al di sotto della coperta. Ciascuno di essi controlla una cima, la quale viene indirizzata tramite una puleggia alla vela di prua (nel primo caso), ed allo strallo (nel caso secondo). Entrambi i sistemi permettono l'applicazione di una forza diretta verso prua

e verso il basso. Per maggiori chiarimenti sulla funzionalità di queste manovre riferirsi al paragrafo 1.5.9 del capitolo 1.

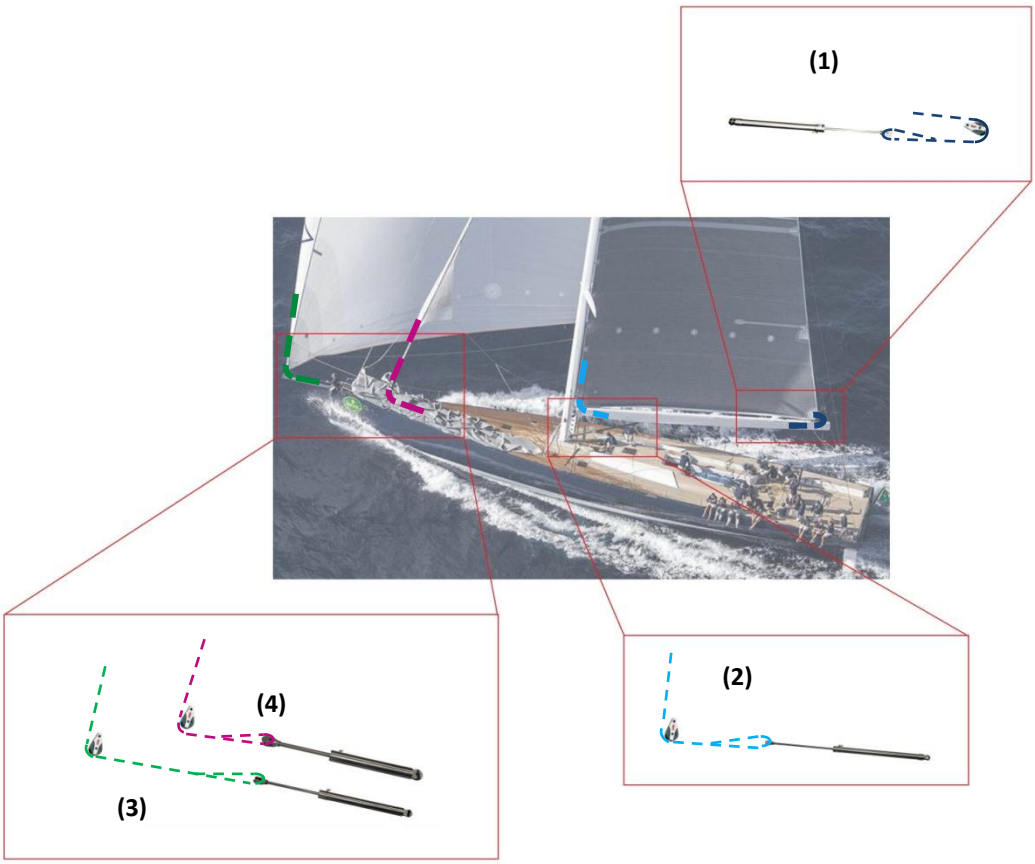


Figura 3.2. Meccanismi di controllo di alcune delle manovre che equipaggiano l'imbarcazione. In particolare: tesabase (1), cunningham della randa (2), regolatore del punto di mura del gennaker (3), controllore della tensione del secondo strallo (4).

Nella figura 3.3 sono evidenziate le manovre relative al controllo del punto di scotta della vela di prua e del carrello della randa.
La vela di prua viene regolata tramite l'intervento di due cilindri posizionati longitudinalmente al di sotto del piano di coperta della barca. Uno di essi (1) controlla la posizione di un carrello (3) il quale può scorrere lungo una rotaia (4) collocata trasversalmente sul punte dell'imbarcazione, a lato dell'albero. Questo consente la regolazione della scotta del fiocco, mediante la quale viene modificata la posizione laterale della vela; essa potrà infatti essere posizionata, in base alle condizioni di navigazione, presso l'asse di mezzeria della nave oppure vicino ad uno dei suoi lati.

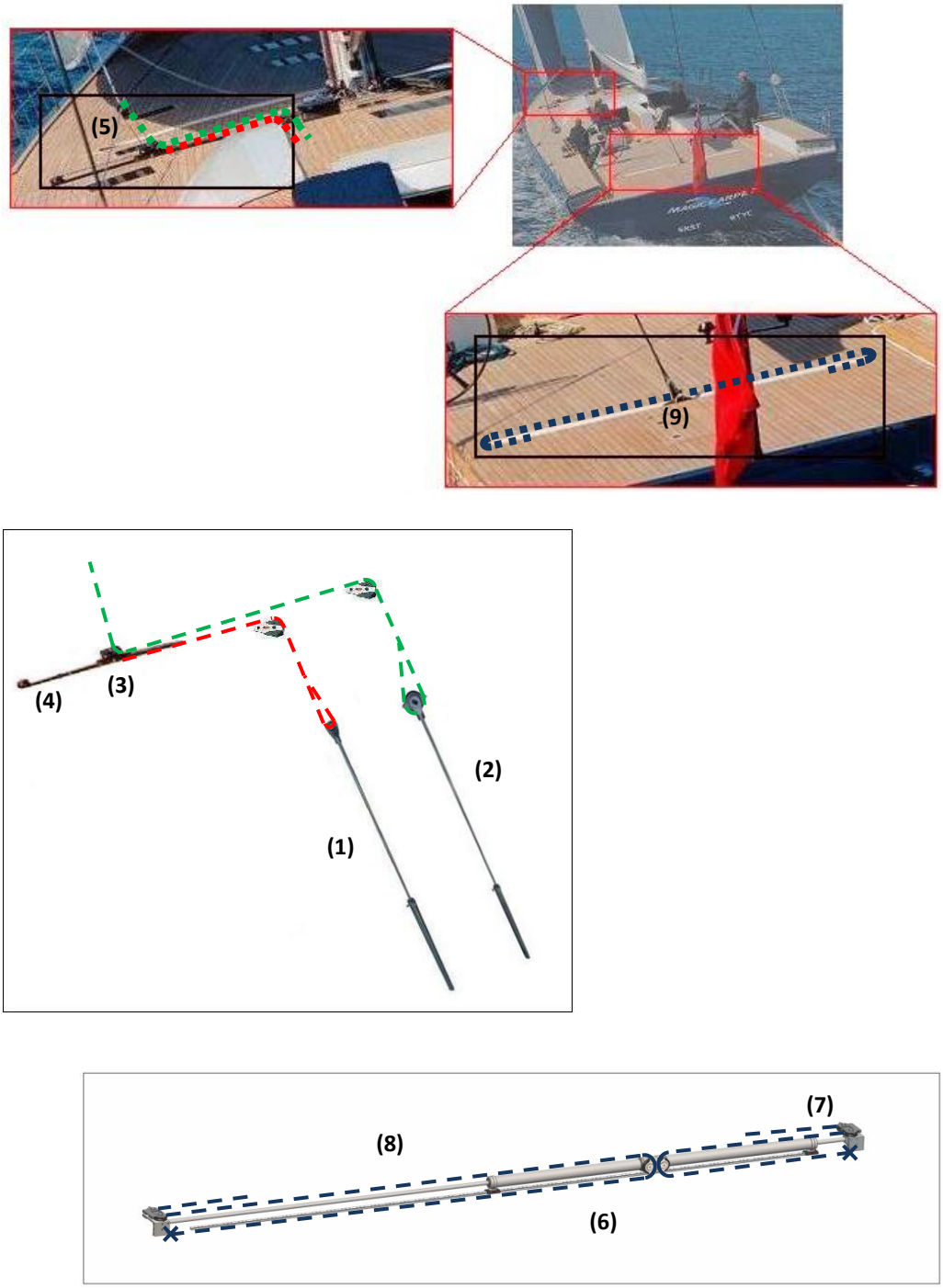


Figura 3.3. Particolari delle manovre di regolazione del punto di scotta del fiocco (1), (2) e del carrello del trasto (7).

Un secondo cilindro (2) regola l'altezza della scotta modificando la posizione verticale di un anello (5) attraverso cui passa la scotta del fiocco. Per una descrizione dettagliata sul funzionamento di queste manovre si rimanda al paragrafo 1.5.6 (capitolo 1).
Nella stessa figura 3.3 è inoltre presente un particolare del sistema di regolazione del carrello della randa (6). Questa manovra, definita trasto, è costituita da un cilindro oleodinamico a doppio effetto (realizzato in lega di titanio Ti 6A1 4V) collocato nella parte poppiera dell'imbarcazione, al di sotto della coperta, il quale permette la regolazione di due cime (7, 8) che scorrono attraverso delle pulegge connesse alla camera dell'attuatore, che in questo caso è mobile e scorre su dei carrelli, mentre lo stelo è fisso e vincolato alle strutture dell'imbarcazione. Le cime (7, 8) sono collegate al carrello (9) al quale viene connessa la scotta della randa. Questo consente un controllo preciso dello spostamento del carrello (9) da un lato all'altro dell'imbarcazione e di conseguenza il controllo della posizione del boma. Il sistema è alimentato dalla linea dell'impianto oleodinamico in "bassa pressione". Per ulteriori dettagli sul funzionamento del sistema si rimanda al paragrafo 1.5.3.

Diametro camera [mm]	Corsa pistone [mm]	Carico di snervamento [N]	Massa a secco [g]	Volume massimo olio [dm^3]
55	200	50992	36600	3,76

Tabella 3.5. Caratteristiche principali carrello della randa.

Nella figura 3.4 viene mostrato il meccanismo di funzionamento del deflettore. Come descritto in precedenza questa manovra consente di modificare il punto di intersezione fra sartie volanti ed albero, ponendolo alla stessa altezza del punto in cui l'albero è collegato al secondo strallo (6). Un cilindro oleodinamico a singolo effetto (5), posizionato sotto la coperta nei pressi della base dell'albero (3), applica una forza di trazione ad una cima (2) che scorre attraverso una puleggia montata all'estremità dello stelo. Questa cima è vincolata ad un suo capo ad un punto fisso (4) collegato alle strutture interne della barca, mentre dall'altro è biforcata e collegata alla parte superiore delle sartie volanti (1). In questo modo quando l'olio viene pompato nella camera del cilindro il pistone e lo stelo si muovono verso il basso trascinando con sé la cima (2) che a sua volta è responsabile dello spostamento della sartia volante che nella specifica condizione si trova in tensione (1).
Un'altra manovra di fondamentale importanza per il perfetto controllo della velatura dell'imbarcazione è costituita dal caricabasso del boma (1) (figura 3.5). Esso collega un punto posto sulla superficie inferiore del boma (4) ad un punto situato nella parte inferiore dell'albero (5) sulla sua faccia di poppa. Il meccanismo di comando prevede

un cilindro (2) costruito in lega di titanio Ti 6A1 4V, esso è connesso ad una prolunga composta da un cavo in fibra tessile, in grado di trasmettere carichi di trazione, racchiuso da una struttura cilindrica realizzata in fibra di carbonio (3) e in grado di trasmettere carichi di compressione. Una prerogativa di questo componente è la capacità di sopportare il carico di compressione dovuto al peso del boma e di mantenerlo orizzontale in condizione di riposo. Tale funzione è demandata all’espansione di un gas (argon) inserito in un’opportuna camera alla pressione di 5 MPa. Le caratteristiche principali di questo componente sono riportate nella tabella 3.5.

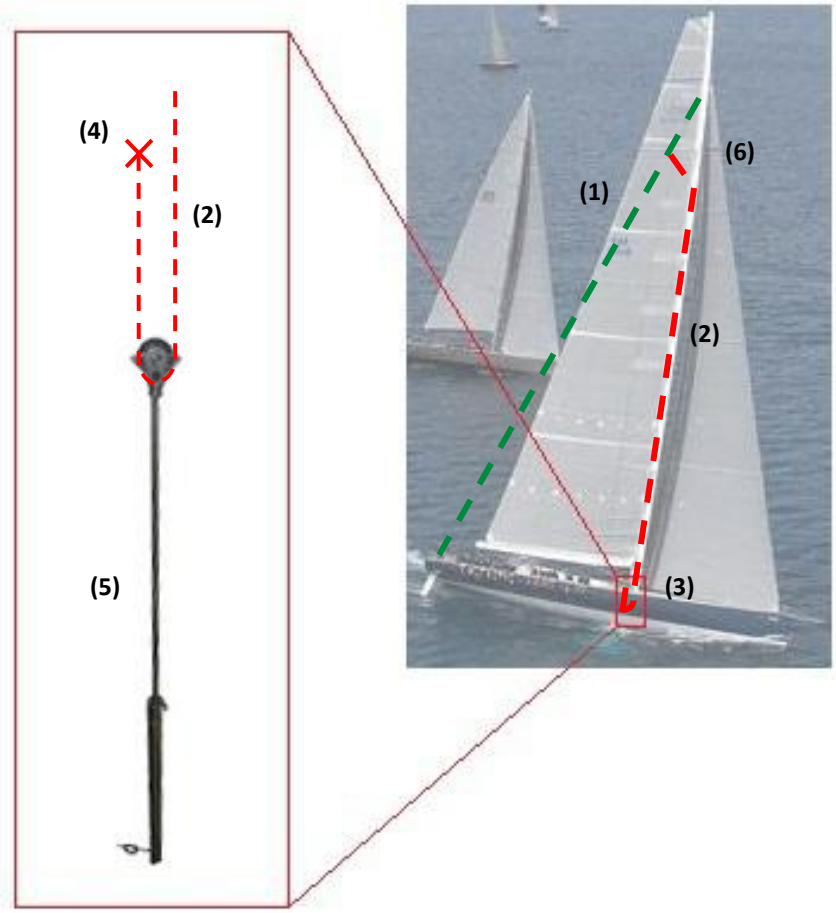


Figura 3.4. Particolare del deflettore e meccanismo di funzionamento della manovra.

Diametro camera [mm]	95
Corsa pistone [mm]	310
Diametro stelo [mm]	45
Carico di snervamento [N]	549360
Carico massimo in compressione [N]	36249
Massa a secco [g]	39600
Volume massimo olio [dm^3]	1,7

Tabella 3.6. Principali caratteristiche relative al cilindro caricabasso del boma.

L'imbarcazione è dotata di un avvolgifiocco oleodinamico integrante il tenditore dello strallo di prua ed il cilindro del cunningham del fiocco (6). La figura 3.5 riporta il meccanismo di funzionamento del sistema.
Il fatto di avere un unico dispositivo integrante più funzioni semplifica il progetto della prua della barca in quanto lo scafo deve prevedere un unico punto di attacco in grado di sopportare i carichi trasmessi dall'attrezzatura.
La particolarità di questo componente è quella di essere in grado di garantire la rotazione e la messa in tensione dello strallo. In questo modo la vela di prua può essere mantenuta nella posizione corretta e all'occorrenza avvolta intorno allo strallo per ridurre in maniera progressiva la sua superficie esposta al vento. Il meccanismo interno al dispositivo è piuttosto complesso ed una sua descrizione dettagliata richiederebbe uno specifico paragrafo. Questo però entrerebbe in conflitto con i vincoli di segretezza imposti dall'azienda. Ci si limiterà dunque ad una descrizione sommaria del funzionamento del componente.
Lo strallo è vincolato ad un elemento che può essere fatto ruotare e traslare sotto l'azione di un motore oleodinamico e di un cilindro. Un ulteriore cilindro integrato nel dispositivo permette la regolazione dello stato di tensione dell'inferitura della vela di prua. Esso mette in movimento un anello, posizionato esternamente al sistema di regolazione dello strallo, sul quale è vincolata la manovra.
L'impianto oleodinamico deve prevedere dunque un complesso sistema di alimentazione dell'olio al motore idraulico che comanda il sistema di avvolgimento del fiocco intorno allo strallo, un sistema di alimentazione dell'olio al cilindro che conferisce la tensione allo strallo ed infine un sistema di alimentazione dell'olio al cilindro che permette di mettere in tensione il punto di mura del fiocco. Entrambi i cilindri sono a singolo effetto con ritorno a gas.

Manovra	Portata olio al motore oleodinamico [dm^3/s]	Massa complessiva sistema [g]
Avvolgifiocco	0,42	123800

Tabella 3.7. Caratteristiche principali avvolgifiocco

Manovra	Corsa pistone [mm]	Carico di snervamento [N]	Volume massimo olio [dm^3]
Tenditore strallo	398	338445	1,97
Cunningham sul fiocco	200	59233	0,4

Tabella 3.8. Caratteristiche delle manovre integrate nel sistema di avvolgimento del fiocco.

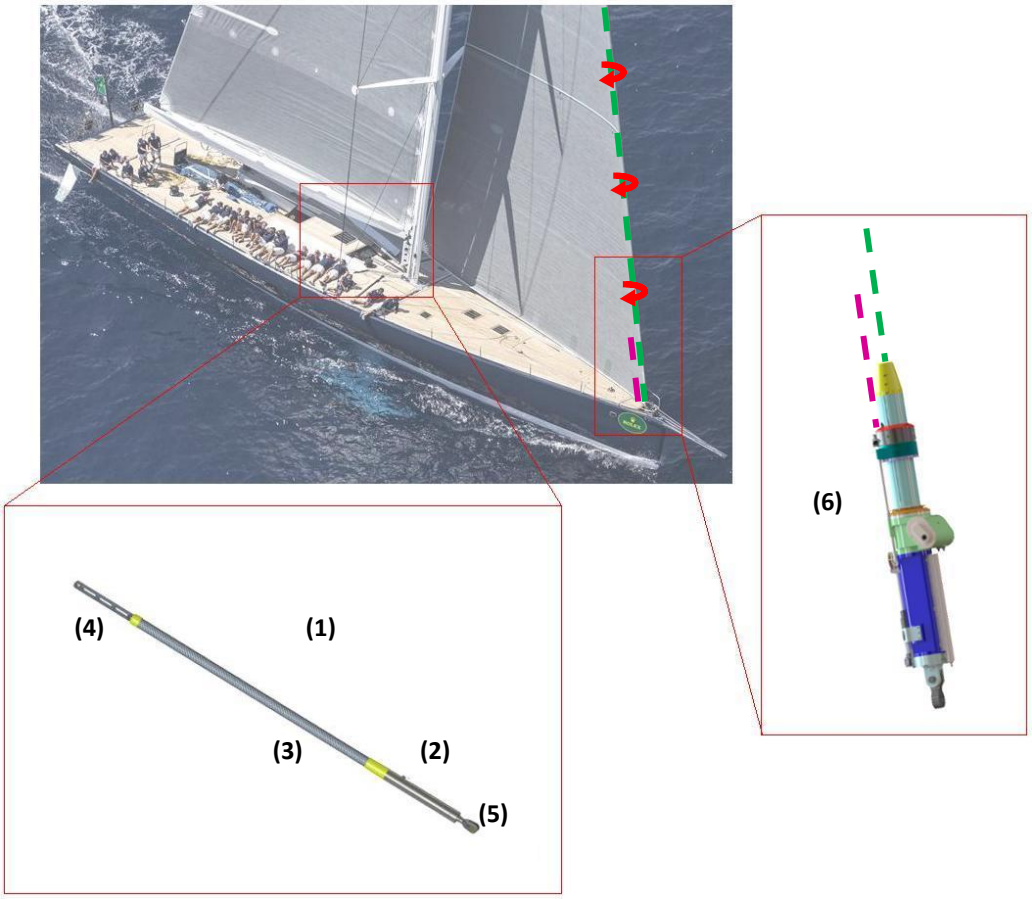


Figura 3.5. Particolari del caricabasso del boma e del sistema di avvolgimento del fiocco (6).

L'impianto oleodinamico ad "alta pressione" alimenta anche un cilindro a doppio effetto posto alla base dell'albero ed in grado di modificarne la posizione. Esso è stato fornito da un'altra azienda e le caratteristiche relative non sono state fornite.

3.4.1.1 Cilindri MagicDouble

Queste manovre meritano una descrizione dettagliata. Si tratta di cilindri doppi a doppio effetto inventati dall'azienda Cariboni Srl e sviluppati negli anni. Questi sistemi, unici nel loro genere, sfruttano un complesso apparato di rinvii tramite pulegge connesse agli steli dei cilindri per moltiplicare la forza finale applicata alla cima ed ottenere una corsa elevata mantenendo il sistema quanto più compatto possibile.
Ciascun cilindro di questo tipo è composto da due steli di differente lunghezza connessi a delle pulegge costituenti un paranco. Lo stelo con maggiore lunghezza è connesso ad un paranco con rapporto 4:1 e viene utilizzato per tesare le cime con elevata velocità durante la fase iniziale delle manovre in cui i carichi sono più bassi ma sono richieste corse elevate. Lo stelo con minore corsa è invece connesso ad un paranco con rapporto 2:1 e viene utilizzato per la regolazione delle cime durante le fasi finali delle manovre in cui i carichi sono ingenti ma le corse richieste sono ridotte. Sulla culatta di questo tipo di cilindri è ricavato un foro di ancoraggio che rappresenta un punto fisso in cui viene bloccata l'estremità della cima (figura 3.8).
A differenza dei cilindri a singolo effetto precedentemente descritti in cui lo stelo è soggetto ad un carico di trazione, in questo caso gli steli sono soggetti ad un carico di compressione.
Paragonati ai sistemi tradizionali questi risultano più veloci, leggeri ed affidabili. In generale questi meccanismi rappresentano un'alternativa all'utilizzo dei verricelli, presentano il grosso vantaggio di potere essere installati sotto coperta riducendo l'affollamento di attrezzature sul ponte. Inoltre possono essere automatizzati tramite un sistema atto al controllo dell'alimentazione dell'olio verso le camere dei cilindri e gestito tramite valvole a comando elettromagnetico. Non è più dunque necessario che i membri dell'equipaggio debbano provvedere ad avvolgere intorno al tamburo del verricello la cima relativa ad una certa manovra, oppure in base all'intervento che si trovano ad effettuare, a rilasciarla gradualmente. Il tutto può essere semplificato all'intervento su un pulsante di comando.

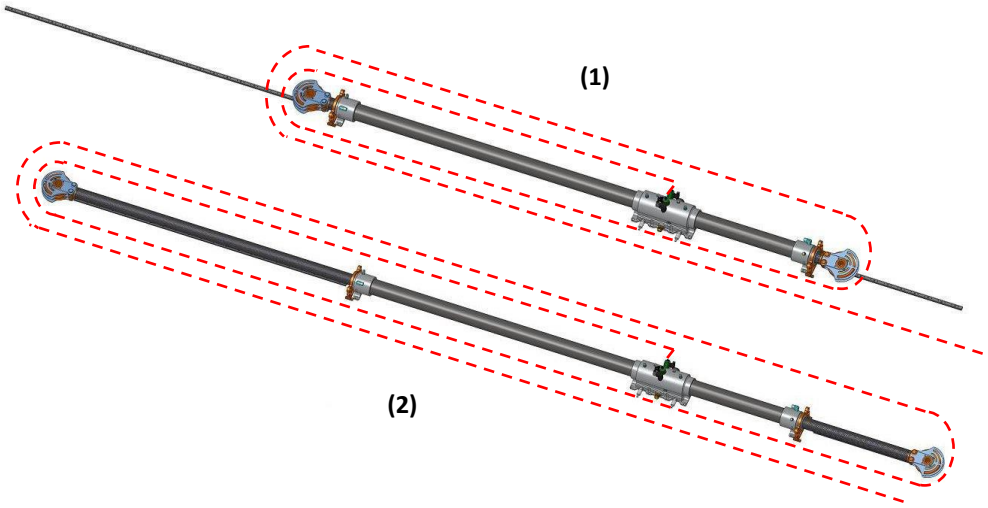


Figura 3.6. Cilindro MagicDouble per tesare la scotta della randa con schematizzazione del percorso effettuato dalla cima. Si vedono le due configurazioni: completamente “chiuso” (1) e completamente “aperto” (2).

Per quanto riguarda l’attrezzatura dell’imbarcazione *Wally 100’ Magic Carpet Cubed*, essa presenta tre MagicDouble, uno dedicato alla scotta della randa e due dedicati alle sartie volanti. Ciascuno di essi presenta una camera realizzata in lega di titanio Ti 6A1 4V, testata e culatte realizzate in lega di alluminio 7075 T6, steli realizzati in fibra di carbonio per ridurne le masse. Opportuni trasduttori lineari inseriti all’interno degli steli dei cilindri permettono al sistema di controllo di conoscere la posizione istantanea raggiunta dal pistone. Ogni dispositivo viene comandato dall’equipaggio tramite un opportuno pulsante posizionato nei pressi della ruota del timone. Il posizionamento a bordo di questi dispositivi e la schematizzazione dei meccanismi di comando delle manovre sono illustrati nella figura 3.7, mentre le principali caratteristiche dei cilindri sono riportate nelle tabelle 3.9, 3.10 e 3.11

Manovra	Diametro camere [mm]	Diametro steli [mm]	Corsa pistone lato puleggia 4:1 [mm]	Corsa pistone lato puleggia 2:1 [mm]
Scotta della randa	100	85	2150	800
Sartie volanti	90	75	1570	600

Tabella 3.9. Principali dimensioni del cilindro della randa e dei cilindri delle sartie volanti.

Manovra	Forza massima di trazione sulla cima [N]	Lunghezza massima di spostamento della cima [mm]	Massa a secco [g]
Scotta della randa	86328	10200	116400
Sartie volanti	97472	7480	70670

Tabella 3.10. Caratteristiche prestazionali e masse del cilindro della randa e dei cilindri delle sartie volanti.

Manovra	Volume massimo olio culatta lato puleggia 4:1 [dm^3]	Volume massimo olio testata lato puleggia 4:1 [dm^3]	Volume massimo olio culatta lato puleggia 2:1 [dm^3]	Volume massimo olio testata lato puleggia 2:1 [dm^3]
Scotta della randa	16,88	4,68	6,28	1,74
Sartie volanti	10	6,93	3,81	2,65

Tabella 3.11. Volumi d'olio del cilindro della randa e dei cilindri delle sartie volanti.

Aiutandosi con la figura 3.7 è possibile descrivere il percorso effettuato dalla scotta della randa (1). Questa manovra è costituita da una cima che viene vincolata ad un capo al carrello della randa, viene fatta passare attraverso il boma, tramite delle pulegge viene deviata all'interno dell'albero ed infine raggiunge il dispositivo di comando posizionato nella prua della barca nella zona di sentina. La cima effettua una serie di giri intorno alle pulegge montate agli estremi degli steli dei cilindri in modo da ottenere uno spostamento tanto più elevato con un dispositivo tanto più contenuto possibile (figura 3.6). Il capo della cima viene sottoposto all'operazione di impiombatura in modo da creare un occhio che poi viene racchiuso in un punto fisso come mostrato in figura 3.8.
In questo modo quando il meccanismo di comando della manovra applica una forza di trazione sulla cima, il boma, schematizzabile come una trave a sbalzo vincolata all'albero tramite uno snodo, viene sottoposto ad una forza diretta verso il basso e applicata al suo estremo libero. Questo causerà la curvatura dell'elemento dalla quale deriverà una modifica della forma assunta dalla randa.

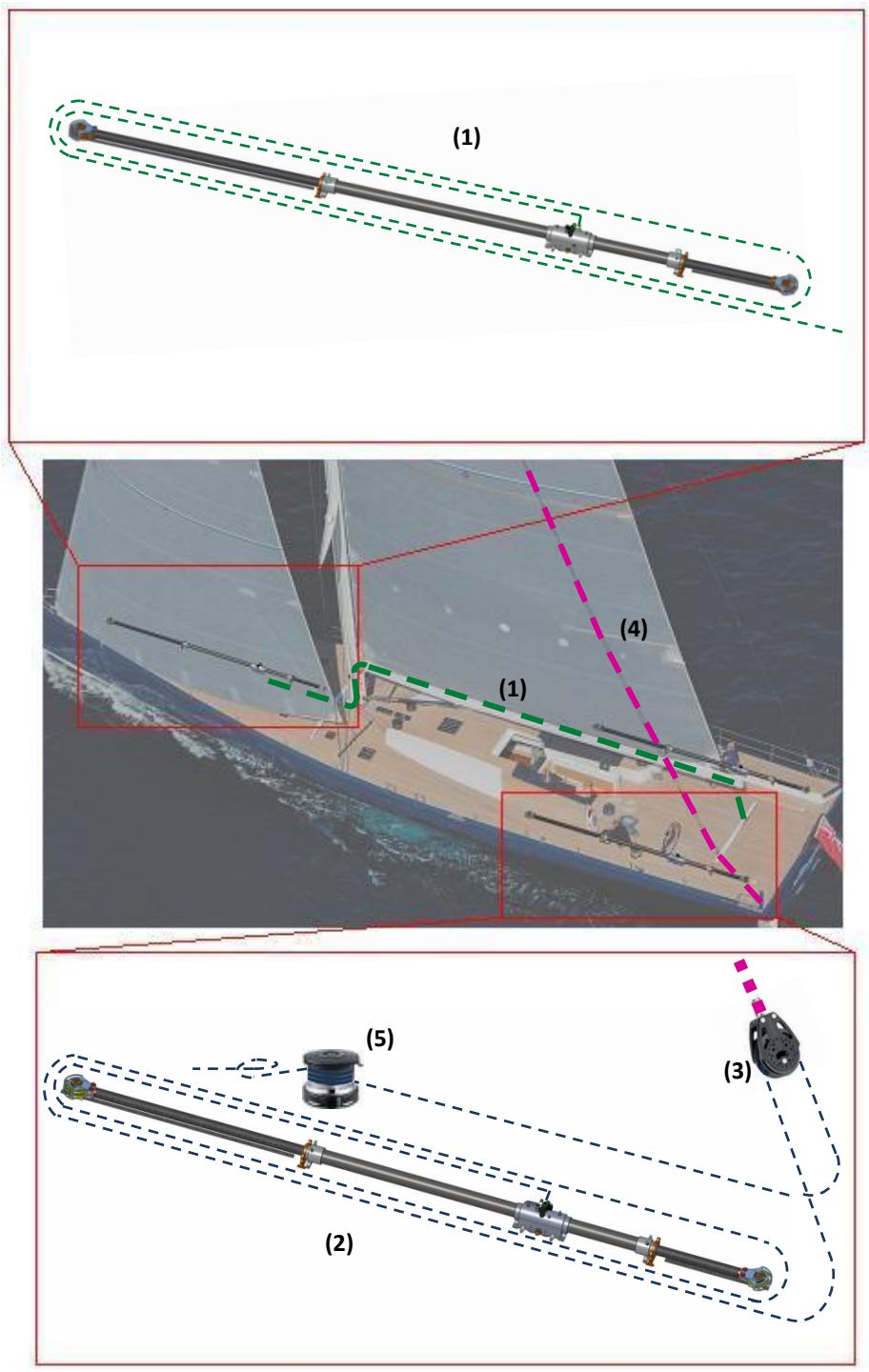


Figura 3.7. Particolari dei meccanismi di comando delle scotta della randa (1) e delle sartie volanti (2).

Per quanto riguarda i meccanismi di controllo delle sartie volanti (2) il funzionamento è identico a quello appena esposto per il dispositivo di controllo della scotta della randa. In questo caso però ciascuna cima regola la posizione di una puleggia mobile (3), posta nella parte poppiera dell'imbarcazione, alla quale è vincolato un cavo (4) che costituisce la manovra vera e propria. Il capo libero della cima viene avvolto intorno ad un verricello idraulico (5) il quale costituisce un punto fisso. La sua funzione è quella di permettere il rilascio rapido della manovra in caso di mancato funzionamento del meccanismo appena descritto. Questo ulteriore fattore di sicurezza è dettato dal regolamento di categoria seguito per le progettazione della barca in questione.
Il sistema garantisce un controllo molto preciso delle manovre e apre spazio all'automazione di parte delle regolazioni che l'equipaggio deve effettuare in determinate condizioni. In particolare durante una virata, in cui cambia il lato dell'imbarcazione esposto al vento, la sartia volante che prima dell'effettuazione della manovra si trovava in tensione deve essere rilasciata, mentre la sartia volante che prima era "libera" deve essere messa in tensione. Questo per evitare che la randa vada a sbattere con una delle suddette manovre. Sfruttando un controllore logico (descritto in dettaglio nel capitolo 5) opportunamente programmato per la gestione sequenziale delle valvole relative alla parte dell'impianto oleodinamico che si occupa dell'alimentazione e dello scarico dell'olio dei cilindri in questione, è possibile rendere automatiche le operazioni appena descritte limitando l'intervento dell'equipaggio all'invio di un segnale di comando al sistema di controllo centrale (tenendo semplicemente premuto un pulsante posizionato presso i comandi del timone).

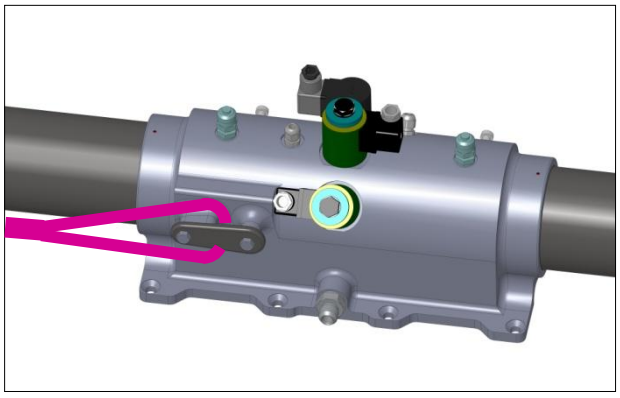


Figura 3.8. Particolare della culatta di un cilindro oleodinamico doppio con rappresentazione della cima vincolata al suo punto fisso.

3.4.1.2 Verricelli idraulici

L'imbarcazione è equipaggiata con otto verricelli ciascuno dei quali connesso ad un motore oleodinamico a pistoni radiali. L'utilizzo dei verricelli è così ripartito: due verricelli sono dedicati alle manovre relative alla regolazione di randa, fiocchi e gennaker, quattro verricelli sono dedicati alle drizze (manovre utilizzate per issare le vele), i restanti due sono dedicati alle sartie volanti.
Costruttivamente questi verricelli sono realizzati in modo da generare tre differenti rapporti di trasmissione. Premendo un pulsante posto sulla sommità del verricello si inserisce la prima marcia. Al motore idraulico viene fornita una certa quantità di olio ad una delle due luci di alimentazione, questa metterà in moto il motore stesso e di conseguenza il verricello a cui è connesso. In questa condizione il rapporto di trasmissione 1:1 garantisce alta velocità di rotazione e bassa coppia. Risulta così possibile avvolgere intorno al tamburo svariati metri di cima in pochi secondi senza che sia necessario applicare una forza elevata, essendo la manovra nella fase iniziale i carichi sono necessariamente bassi. Alimentando il motore idraulico dalla luce di alimentazione opposta rispetto al caso precedente esso comincerà a ruotare nel verso contrario. Per la particolarità costruttiva del congegno, questo movimento creerà il disinnesto della prima marcia e l'innesto della seconda. Il tamburo del verricello girerà con lo stesso senso di rotazione rispetto al caso precedente, ma questa volta con una minore velocità ed un momento torcente maggiore. Queste caratteristiche sono in congruenza con le necessità di intervento sulla manovra in quanto i carichi tendono ad aumentare rispetto alla condizione precedente. Invertendo nuovamente le luci di alimentazione del flusso d'olio al motore idraulico, esso invertirà di nuovo il proprio verso di rotazione, il meccanismo interno al verricello innescherà automaticamente la terza marcia. Il tamburo del verricello avrà una velocità di rotazione molto più bassa rispetto a quella del motore ma il momento torcente risulterà molto superiore. Queste caratteristiche sono indispensabili durante la fase finale delle manovre in cui è necessario apportare piccole regolazioni al piano velico a bassa velocità, ma le forze necessarie a movimentare le cime divengono ingenti.
L'impianto presenta due peculiarità: la prima è la possibilità di incrementare la velocità di rotazione del verricello mediante una funzione denominata "overspeed", la seconda consiste nel passaggio automatico da un rapporto di trasmissione ad un altro. Per quanto riguarda l'incremento di velocità esso è attuato incrementando il flusso d'olio di alimentazione al motore idraulico attraverso il comando elettromagnetico di una valvola proporzionale. Il sistema di controllo permette di impostarne la percentuale di apertura e di conseguenza l'incremento di velocità. Per quanto riguarda il cambio automatico del rapporto di trasmissione del verricello, bisogna anticipare che la linea

di trasmissione dell'olio verso il motore idraulico è dotata di sensori di pressione che inviano un segnale ad un sistema di controllo. Quando questo sistema legge un segnale corrispondente ad un valore di pressione superiore ad una certa soglia settata in precedenza, esso invia dei segnali elettrici alle valvole presenti sulla linea di alimentazione del motore, permettendo di invertire le luci di ingresso e di uscita dell'olio. Questo fa si che la potenza assorbita non cresca eccessivamente andando a richiedere un carico eccessivo al motore primo. In totale il sistema può attuare due variazioni del rapporto di trasmissione.

Cilindrata [dm^3]	Pressione massima in servizio continuo [MPa]	Pressione massima di picco [MPa]	Massima velocità in servizio continuo [giri/s]	Massima velocità [giri/s]	Potenza massima [kW]
0,1	0,2	0,31	11	15	12

Tabella 3.12. Principali caratteristiche motore idraulico verricelli.

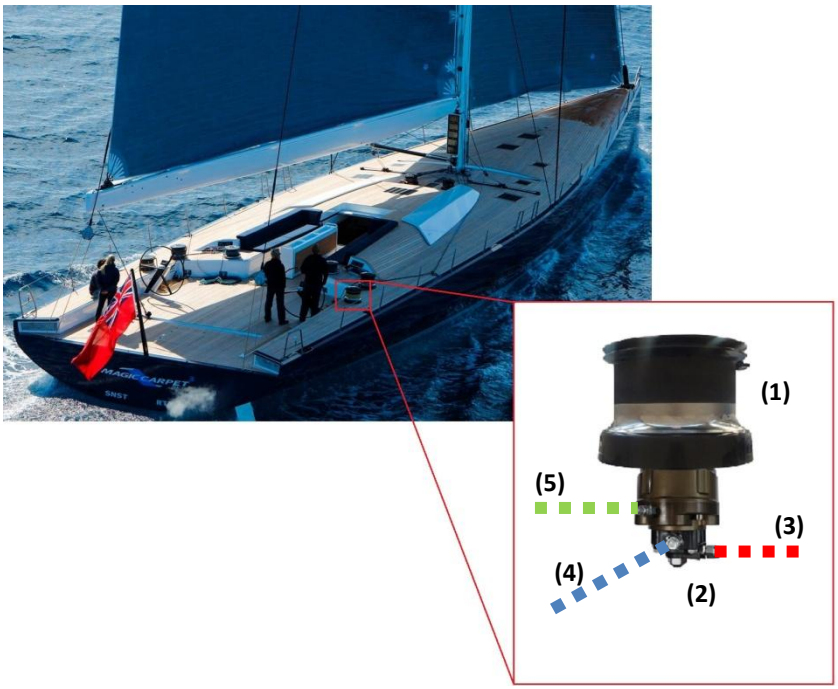


Figura 3.9. Particolare di un verricello oleodinamico con rappresentazione dei tubi di passaggio dell'olio. Nell'immagine si distinguono il tamburo (1), il motore oleodinamico (2), la linea di alimentazione (3), la linea di scarico (4) (invertibile con la (3) per cambiare il senso di rotazione del sistema) e la linea di drenaggio (5) dell'olio.

3.4.2 Propulsione

Il sistema propulsivo rappresenta l'utenza con la maggiore richiesta di potenza. Una volta scelte le caratteristiche della carena e dell'attrezzatura, occorre determinare la quantità di potenza che consenta alla nave di rispettare i requisiti operativi e contrattuali in termini di velocità.
Il progettista dell'imbarcazione calcola le curve della forza resistente in funzione della velocità di avanzamento (figura 3.10). Conoscendo queste, i rendimenti degli organi del sistema e definendo una velocità obiettivo è possibile determinare la potenza che il motore primo deve fornire.

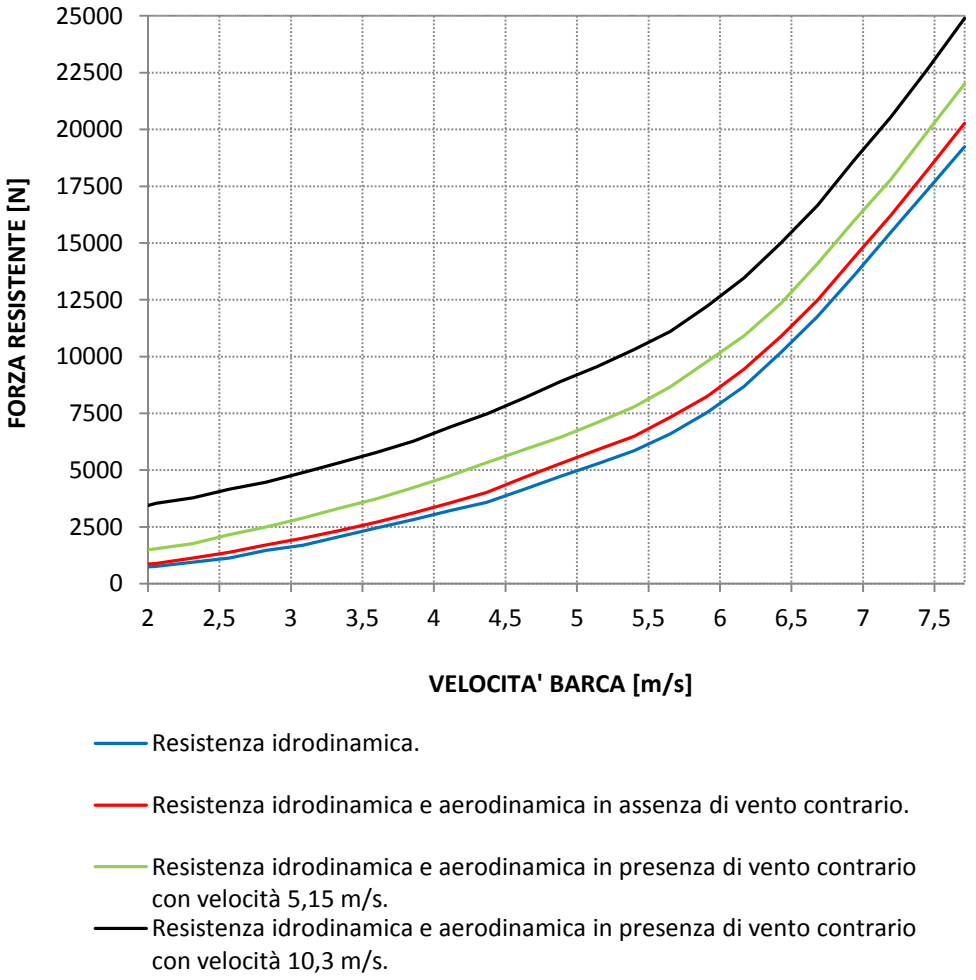


Figura 3.10. Diagramma forza resistente in funzione della velocità della barca per differenti condizioni.

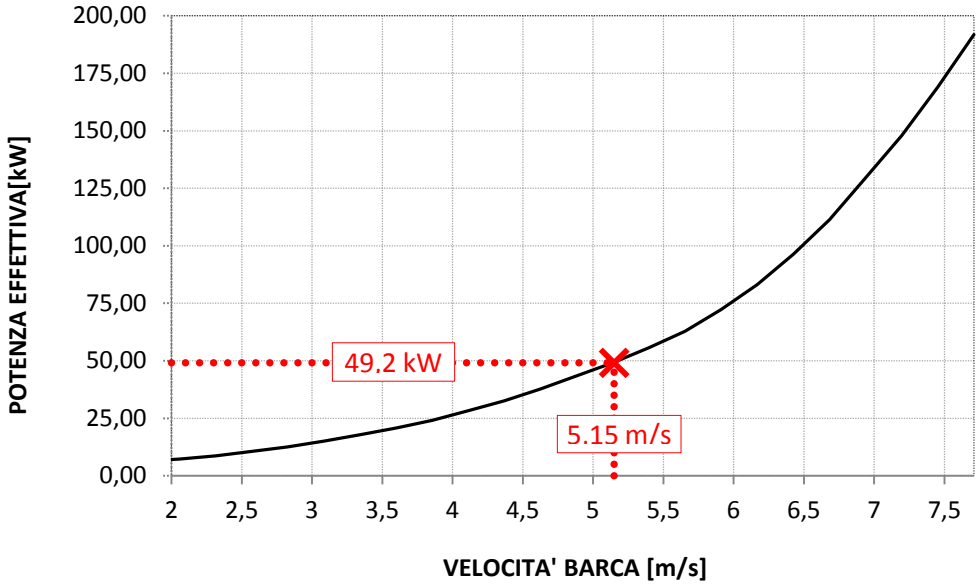


Figura 3.11. Diagramma della potenza effettiva in funzione della velocità dell'imbarcazione.

Naturalmente queste curve sono il frutto di simulazioni e sono del tutto teoriche, è dunque bene mantenere sempre un margine cautelativo.
Per la barca in questione l'impianto deve garantire una velocità di crociera di 5,15 m/s (10 nodi) in presenza di vento contrario alla direzione di avanzamento e con velocità pari a 10,3 m/s (20 nodi). La potenza effettiva teorica necessaria in questa condizione è pari a 49,2 kW.
Scopo del sistema propulsivo è quello di trasformare la potenza meccanica fornita da un motore endotermico in forza di avanzamento, mediante l'accelerazione del fluido.
Per fare ciò utilizza un'elica opportunamente dimensionata e posizionata al di sotto dello scafo della barca nella zona poppiera. Essa è collegata ad un albero in lega di titanio Ti 6A1 4V di lunghezza uguale a 2749 mm e connesso, tramite un opportuno sistema di accoppiamento, ad un motore oleodinamico.
Purtroppo non tutta la potenza a disposizione del sistema può essere impiegata per muovere l'imbarcazione. Una parte di essa viene dissipata sotto forma di perdite di differente tipo. Per quanto riguarda l'albero di trasmissione ed il sistema di accoppiamento al motore la perdita di potenza è modesta e si aggira intorno a qualche punto percentuale rispetto al flusso entrante. Questo è dovuto ad un rapporto di trasmissione unitario ed alla presenza di un opportuno circuito di lubrificazione. L'efficienza dell'elica nel generare spinta propulsiva è invece molto più bassa. Questo è dovuto a fattori fluidodinamici ed al fatto che essa è posta con un certo angolo di

inclinazione rispetto al piano orizzontale dovuto a vincoli costruttivi di collegamento con il motore. La conseguenza di ciò è la nascita di una componente di spinta verticale che tende a sollevare l'imbarcazione e non contribuisce all'avanzamento. L'efficienza del sistema risulta dunque essere intorno a 0,5. In base a queste considerazioni e mantenendo un certo margine di sicurezza il progettista della barca ha definito un valore di potenza indicata pari a 110 kW.

Il sistema propulsivo è costituito da una pompa a pistoni assiali a cilindrata variabile collegata all'albero del motore endotermico. Essa aspira l'olio e lo invia tramite un sistema tubiero ad un distributore necessario ad indirizzare il flusso verso il motore idraulico o a deviarlo verso la linea di ritorno. Inoltre permette al motore di essere alimentato tramite due fonti di potenza distinte in base alla differente condizione di utilizzo della barca. Il motore idraulico è accoppiato all'asse dell'elica tramite una doppia flangia. La prima è connessa all'albero del motore tramite un profilo scanalato mentre la seconda è connessa all'albero dell'elica tramite un accoppiamento conico e con chiavetta. Questo sistema rende il giunto economico nella costruzione e di facile montaggio.

La pompa ed il motore oleodinamico sono collegati in circuito chiuso. Questa soluzione prevede due rami, uno di mandata dell'olio dalla pompa al motore, ed uno di ritorno dell'olio dal motore alla luce di aspirazione della pompa. Tramite un opportuno sistema di regolazione interno alla pompa le due linee possono essere invertite, questo permette l'inversione del senso di rotazione del motore e quindi il cambio del verso di marcia della barca. Sia la pompa sia il motore oleodinamico sono soggetti a perdite volumetriche dovute ai trafilamenti dell'olio tra i cilindri ed i pistoni interni alle macchine stesse. Inoltre a causa delle perdite per attrito si genera calore che in mancanza di un raffreddamento surriscalderebbe il liquido, con conseguenze negative per il funzionamento del circuito, l'integrità dei componenti e la durata del liquido stesso. Al reintegro ed al ricambio dell'olio provvede una pompa ausiliaria integrata nella pompa principale che immette continuamente olio fresco nel circuito [6]. Il distributore, oltre alla funzione già menzionata, monta al proprio interno delle valvole limitatrici di pressione e dei sensori di pressione elettronici. In questo modo in caso di funzionamento anomalo del sistema e un conseguente innalzamento della pressione a livelli critici, l'olio viene scaricato al serbatoio evitando il danneggiamento dell'impianto. I sensori collegati al sistema di controllo e gestione dell'impianto permettono un monitoraggio continuo del funzionamento e un'ispezione da parte dell'equipaggio in caso di guasto.

Il dimensionamento del circuito viene fatto in base alla potenza che esso deve trasferire ed alla pressione operativa. Vengono poi scelti pompa e motore tra l'ampia gamma di macchine disponibili sul mercato. I parametri fondamentali per la loro scelta

sono la cilindrata, la velocità di rotazione operativa e la pressione massima di lavoro. Da questi dipenderanno poi la portata erogata e di conseguenza per effetto del carico la potenza idraulica fornita al fluido. L'efficienza della macchina dipende invece dalle caratteristiche costruttive come esposto nel paragrafo 2.7.1.
In prima approssimazione e senza considerare i flussi di drenaggio il rapporto di trasmissione τ dipende dal rapporto fra cilindrata del motore V_M e cilindrata della pompa V_P:

$$\tau = \frac{V_M}{V_P} \tag{4.1}$$

Il motore oleodinamico è del tipo a pistoni assiali, a corpo inclinato e a cilindrata fissa; la pompa, invece, ha al suo interno un sistema che permette di modificarne la cilindrata. Il sistema di controllo è collegato a due elettromagneti posti sul guscio esterno della pompa. Questi comandano il movimento di un piattello responsabile del cambio di cilindrata e dell'eventuale inversione del senso del flusso. In questo modo il rapporto di trasmissione può essere variato con continuità fino al valore minimo quando la pompa lavora con la massima cilindrata. Questo tipo di sistema consente di controllare il motore endotermico, anziché in coppia come solitamente accade, in velocità. L'albero della pompa oleodinamica è connesso all'albero del motore a combustione interna tramite un apposito giunto scanalato che concede piccoli disallineamenti fra i componenti. Il motore a combustione interna viene mantenuto ad un regime di giri costante il che consente di ottenere i migliori risultati in termini di momento torcente erogato, potenza e consumo specifico[(1)] di combustibile. In questo modo si ottiene un vantaggio significativo in termini di riduzione del consumo di combustibile, questo permette di ridurre la quantità di gasolio imbarcata durante ogni viaggio e di conseguenza la massa complessiva dell'imbarcazione.
Un ulteriore fattore di vincolo influenzante il progetto del sistema propulsivo è dato dalla velocità di rotazione dell'elica, legata alle sue dimensioni ed alle sue caratteristiche geometriche. È un parametro molto importante in quanto definisce l'efficienza dell'intero sistema. Essa determina la definizione della cilindrata di pompa e motore oleodinamico, nonché della velocità di rotazione del motore primo.
Un'altra caratteristica di questo sistema propulsivo è la possibilità di essere sollevato fino a rientrare all'interno della sagoma dello scafo. Questa caratteristica garantisce una discreta riduzione della forza resistente durante l'utilizzo a vela dell'imbarcazione, fondamentale soprattutto durante le attività di regata.

[(1)] Rappresenta la massa di carburante consumata dal motore nell'unità di tempo, riferita all'unità di potenza. Si esprime in [kg/(kW·h)].

L'albero dell'elica è contenuto all'interno di uno skeg[(2)] mobile (1), questo è vincolato allo scafo dell'imbarcazione tramite un cilindro oleodinamico a doppio effetto e tramite un opportuno supporto che costituisce un punto fisso (3). In questo modo il sistema ruota intorno al punto fisso per effetto dello spostamento dello stelo del cilindro. Il motore oleodinamico (4) ed il sistema di connessione all'albero dell'elica (5) sono vincolati allo stesso supporto tramite due alette di giunzione (6). In questo modo tutti i componenti descritti possono ruotare intorno allo stesso punto. Lo skeg, realizzato in fibra di carbonio per garantire ottima resistenza e massa contenuta, è opportunamente sagomato per ridurre l'attrito dato dall'interazione con l'acqua e rendere minimi i disturbi alla fluidodinamica dell'elica. La parte superiore ha una specifica forma (7) che contiene due teste di scorrimento che si interfacciano a due guide poste all'interno dello scafo nello specifico alloggiamento (8) destinato a racchiudere lo skeg quando completamente sollevato. I gradi di libertà tra gli elementi mobili e gli elementi fissi quali motore endotermico, pompa, collettori sono garantiti dai tubi di collegamento in grado di sopportano un certo grado di flessibilità e di curvatura.

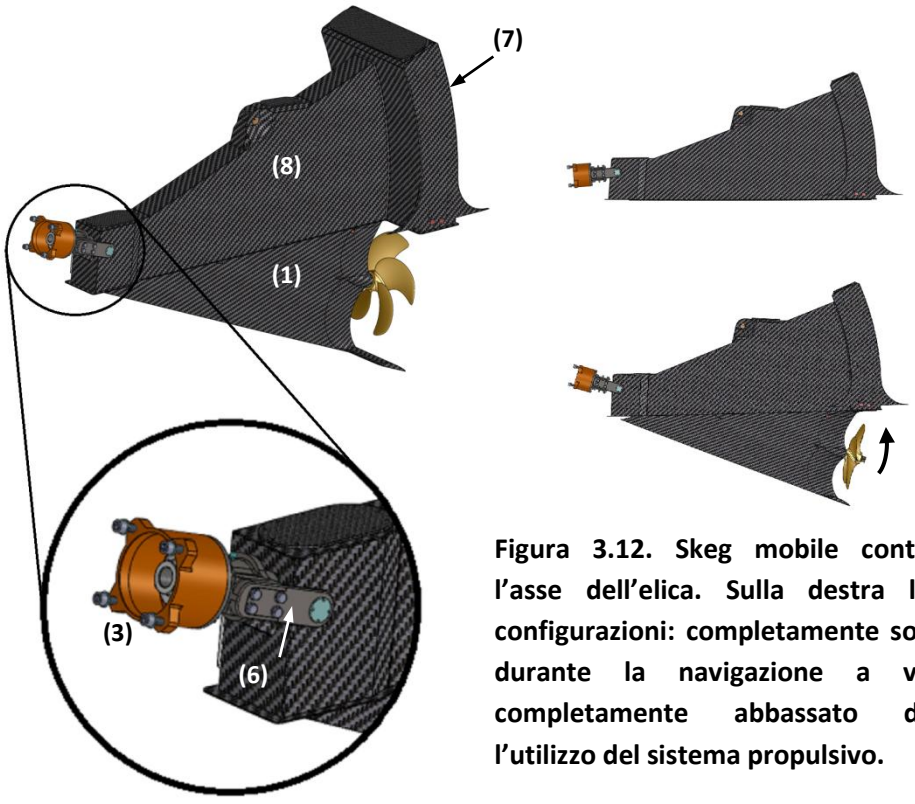


Figura 3.12. Skeg mobile contenente l'asse dell'elica. Sulla destra le due configurazioni: completamente sollevato durante la navigazione a vela e completamente abbassato durante l'utilizzo del sistema propulsivo.

[(2)] Supporto rigido posto al di sotto dello scafo dell'imbarcazione, nella sua zona poppiera, con lo scopo di sostenere l'asse dell'elica.

Un trasduttore di posizione potenziometrico è collegato, da un lato, ad una delle due alette di giunzione del sistema di trasmissione, e dall'altro ad un punto fisso sullo scafo. Questo sensore è collegato al sistema di controllo (plc) che in questo modo conosce la posizione dello skeg in ogni istante e nega l'utilizzo accidentale della propulsione quando questo è sollevato.
Riguardo al cilindro di movimentazione del sistema bisogna sottolineare che esso è soggetto a carichi inferiori di due ordini di grandezza rispetto a quelli a cui sono soggetti i cilindri relativi alle manovre correnti. Il cilindro in questione deve essere a doppio effetto in quanto deve essere in grado di abbassare lo skeg, mantenerlo nella giusta posizione durante la navigazione e sollevarlo. Esso è soggetto ad un carico di compressione dovuto al fatto che l'elica, essendo inclinata rispetto al piano orizzontale di un angolo di circa 13° per ragioni di collegamento al motore, genera una componente di spinta verso l'alto che se non fosse contrastata dal cilindro tenderebbe a sollevare lo skeg. Per una velocità di crociera intorno a 5 m/s l'elica deve generare una forza con componente orizzontale pari a circa 10000 N a cui segue una forza verso l'alto di circa 2300 N che comprime il cilindro. I dati principali sono riportati nella tabella 3.13.

Cilindrata massima pompa [cm^3]	125
Cilindrata motore oleodinamico [cm^3]	226
Rapporto di trasmissione massimo teorico[(3)]	1,8
Velocità massima di rotazione dell'elica [rad/s]	125,6

Tabella 3.13. Principali caratteristiche relative al sistema di propulsione.

Diametro camera [mm]	50
Corsa pistone [mm]	420
Diametro stelo [mm]	35
Massa a secco [g]	6700
Volume massimo olio culatta [dm^3]	0,82
Volume massimo olio testata [dm^3]	0,42

Tabella 3.14. Principali caratteristiche del cilindro di sollevamento del sistema propulsivo.

[(3)] Non comprensivo delle perdite idrodinamiche.

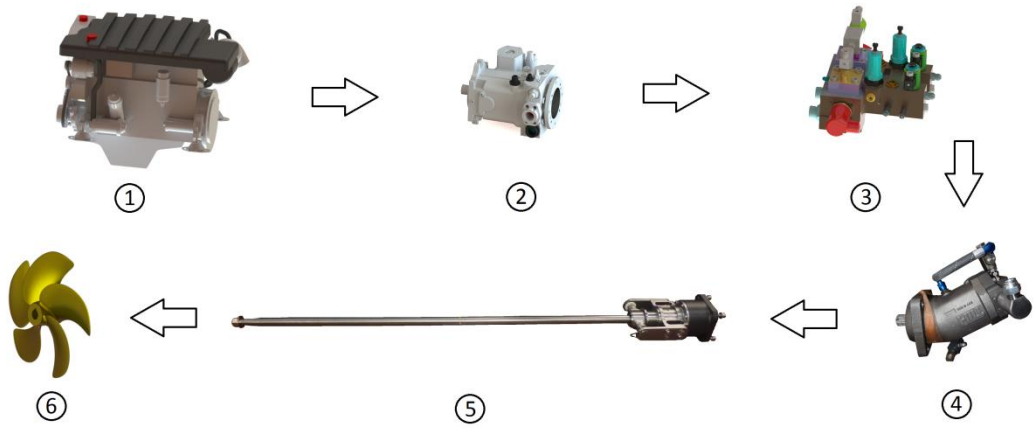


Figura 3.13. Componenti del sistema propulsivo e flusso di potenza. Si distinguono nell'ordine: motore endotermico (1), pompa oleodinamica (2), distributore (3), motore oleodinamico (4), giunto di collegamento e albero di trasmissione (5), elica (6).

3.4.3 Generazione energia elettrica

Il sistema di generazione di energia elettrica rappresenta la seconda utenza per quantitativo di potenza richiesta. L'impianto di ricarica delle batterie si compone di due unità distinte: un alternatore principale composto da un motore trifase brushless con regolazione elettronica a due poli connesso ad un motore oleodinamico ed erogante una potenza massima di 18kW, un alternatore di emergenza collegato al motore endotermico principale tramite cinghia ed erogante una potenza massima di 3,6 kW.

L'alternatore principale è connesso al circuito oleodinamico, ma a differenza del sistema propulsivo, esso lavora in circuito aperto. Il motore endotermico fornisce potenza ad una pompa che invia l'olio ad un apposito distributore. Il sistema di controllo interviene sulle valvole elettromagnetiche montate sul distributore per indirizzare il flusso verso differenti utenze tra cui il motore oleodinamico connesso all'albero dell'alternatore. In un circuito ad anello aperto l'intero flusso d'olio in uscita dall'utenza fluisce al serbatoio e la pompa aspira sempre olio "fresco" dal circuito di alimentazione. Questo schema di impianto è d'obbligo se un'unica pompa deve alimentare nello stesso tempo utenze differenti con differenti condizioni di contemporaneità.

Per erogare corrente elettrica con le dovute caratteristiche di tensione e frequenza, pari rispettivamente a 220 V e 50 Hz, la macchina elettrica deve ruotare ad una velocità di 321 rad/s (3000 rpm) con un certo grado di tolleranza ammesso. Un apposito sistema di controllo connetterà la macchina al sistema di alimentazione delle batterie quando i valori dei suddetti parametri rientreranno nel campo di tolleranza, e la escluderà durante le fasi di accensione e spegnimento, questo per evitare un danneggiamento irreparabile del pacco batterie.
Il motore oleodinamico a cilindrata costante deve perciò essere alimentato con una quantità di flusso fissa necessaria a garantire un regime stazionario.
Un aspetto peculiare di questa parte dell'impianto, causa di non poche difficoltà nella messa a punto del sistema, è l'ingente variabilità di carico cui l'utenza è soggetta, derivante dall'utilizzo dell'impianto elettrico dell'imbarcazione. L'alternatore infatti vede una coppia resistente molto bassa durante le fasi di accensione fino al raggiungimento della velocità di regime. In questa condizione il motore oleodinamico connesso all'albero della macchina deve vincere solamente il suo momento d'inerzia e le resistenze causate dagli attriti interni tra gli organi di accoppiamento quali i cuscinetti. Quando la macchina viene collegata alla rete elettrica la coppia resistente cresce per effetto delle interazioni elettromagnetiche che si creano al suo interno. Il motore oleodinamico incontrerà dunque una maggiore resistenza alla rotazione e la pressione nel circuito aumenterà di conseguenza. La pompa dovrà perciò fornire al fluido maggiore potenza mentre la portata dovrà essere mantenuta costante. Il sistema di controllo interverrà sul sistema di alimentazione del motore endotermico per incrementare la potenza erogata pur mantenendo costante la velocità di rotazione.
Le maggiori difficoltà che si incontrano con questo tipo di controllo e gestione del motore primo riguardano il mantenimento di una velocità di rotazione costante al variare del carico resistente offerto dall'utilizzatore. Se il carico elettrico sull'alternatore diminuisce, si verifica per effetto una diminuzione della pressione nella linea di mandata tra pompa e motore oleodinamico. Se si vuole che la pompa mantenga una portata costante, il motore endotermico dovrà fornire una potenza minore pur mantenendo invariata la velocità di rotazione. Il sistema di controllo e gestione della velocità di rotazione dovrà dunque intervenire sull'apparato di alimentazione per diminuire la coppia erogata. Se tale sistema non è abbastanza rapido nell'intervenire, la velocità di rotazione del propulsore si discosterà dal valore obiettivo causando una variazione della portata erogata dalla pompa. Di conseguenza le velocità di rotazione del motore idraulico e dell'alternatore si discosteranno dal valore di progetto. Le stesse considerazioni valgono anche nel caso si verifichi un brusco aumento del carico resistente sull'utenza. In questo caso il sistema di controllo

dovrà intervenire per incrementare la potenza erogata dal motore primo in accordo con l'aumento di pressione nel sistema. Un altro aspetto che bisogna considerare è dato dal fatto che durante l'utilizzo del generatore di corrente il motore primo deve essere in grado di alimentare delle utenze aggiuntive, che di conseguenza andranno ad aumentare la quantità di potenza e di flusso richiesti. A questi effetti vanno poi sommate le inerzie dei vari componenti quali motore primo, pompa, motore oleodinamico ed alternatore.
Le considerazioni esposte chiariscono come sia molto importante una messa a punto precisa della logica di controllo e della capacità di intervento del controllore di velocità di rotazione del motore.

Cilindrata massima pompa [cm^3]	110
Cilindrata motore oleodinamico [cm^3]	25,4

Tabella 3.15. Cilindrata macchine oleodinamiche relative al sistema di generazione dell'energia elettrica.

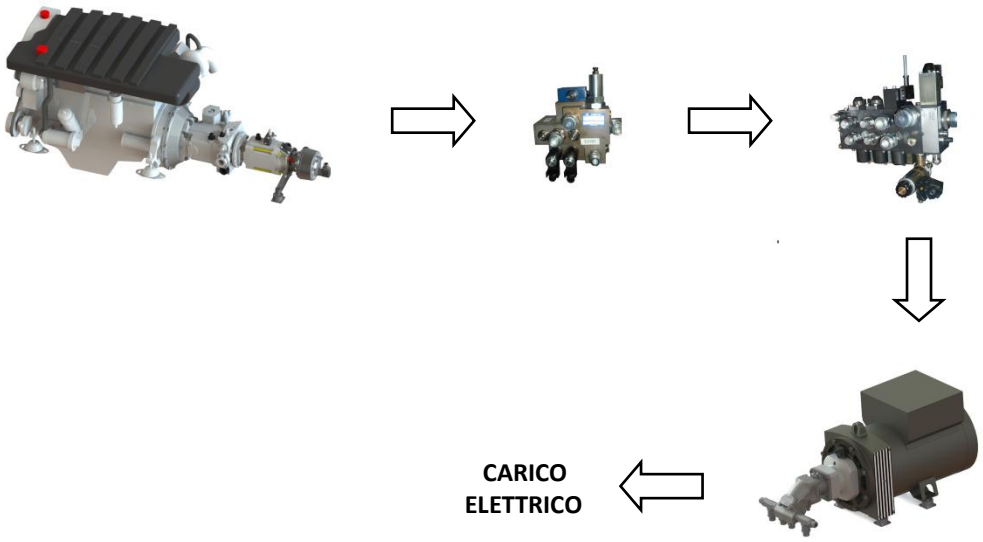


Figura 3.14. Flusso della potenza nel sistema di generazione dell'energia elettrica.

L'impianto si compone poi di un secondo alternatore collegato meccanicamente al motore endotermico. Esso garantisce una potenza elettrica ridotta ma indispensabile in caso di guasto dell'impianto oleodinamico o dell'alternatore principale. Un apposito sistema di supporto è stato creato per vincolare la macchina elettrica al lato del motore dove è presente il volano. Questo tipo di generatore è differente da quello precedentemente descritto. Esso fornisce corrente continua con tensione pari a 24 V per un campo di velocità di rotazione compreso tra 105 rad/s (1000 rpm) a 628 rad/s (6000 rpm). L'intensità della corrente generata cresce all'aumentare del numero di giri della macchina, è dunque necessario introdurre un opportuno rapporto di moltiplicazione tra i giri della macchina termica (definiti da motivi di efficienza) ed i giri di quella elettrica. Questo viene ottenuto dimensionando opportunamente i diametri delle pulegge connesse alle due macchine in modo da ottenere un rapporto di moltiplicazione pari a 1,9. In questo modo l'alternatore è sempre in grado di fornire alle batterie una corrente con intensità superiore a 100 A.

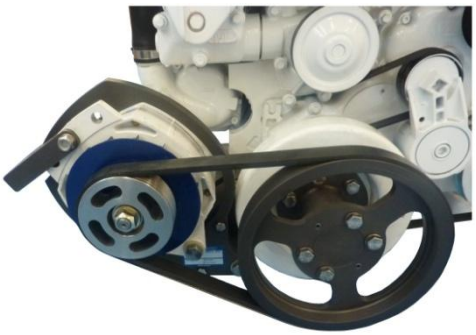


Figura 3.15. Alternatore secondario collegato al motore endotermico principale.

3.4.4 Funzioni ausiliarie

Oltre alle funzioni già descritte, l'impianto oleodinamico può essere sfruttato per alimentare utenze ausiliarie di differente tipologia. Si tratta di funzionalità che sulle più comuni barche sono movimentate manualmente o attraverso motori elettrici. Naturalmente le forze e di conseguenza le potenze in gioco sono di un ordine di grandezza inferiori rispetto a quelle relative alle funzioni precedentemente descritte. Questi dispositivi permettono di rendere più facile, agevole e confortevole l'utilizzo dell'imbarcazione.

3.4.4.1 Specchio di poppa

L’imbarcazione presenta un portello di dimensioni 2400x875 mm sullo specchio di poppa. Esso rappresenta un utile accesso al lazzaretto[(1)] e, quando completamente abbassato, una superficie piana al livello del mare utile alla balneazione. Un cilindro oleodinamico a singolo effetto movimenta una cima, essa passa attraverso una serie di pulegge ed è connessa ad un’estremità del portello, in questo modo la struttura può essere sollevata completamente. Per quanto riguarda la fase di apertura, due cilindri caricati con gas in pressione spingono il portello nella parte inferiore quando il cilindro oleodinamico viene “rilasciato”. La forza di gravità è di aiuto al sistema in questa fase. Al cilindro oleodinamico è demandata anche la funzione di ritenuta del sistema quando completamente sollevato in modo da garantire una chiusura perfettamente sigillata ed impedire il passaggio dell’acqua. Esso deve essere opportunamente dimensionato per supportare la massa del portello più quella di persone e oggetti che possono trovarsi su di esso.

Diametro camera [mm]	35
Corsa pistone [mm]	750
Diametro stelo [mm]	14
Massa a secco [g]	4128
Volume massimo olio [dm^3]	0,33

Tabella 3.16. Principali caratteristiche del cilindro di sollevamento del portellone di poppa.

Figura 3.16. Esempio di portellone di poppa installato su un Solaris 48’.

(1) Spazio dell’imbarcazione posto al di sotto della coperta, a poppavia, utilizzato come magazzino. Tipicamente vi trovano alloggiamento i meccanismi del sistema di governo.

3.4.4.2 Timoneria

L'imbarcazione è equipaggiata con due timoni posizionati ai margini laterali dello scafo nella zona di poppa. La presenza di due timoni è una caratteristica molto comune per le imbarcazioni a vela di ingenti dimensioni in quanto questo garantisce la completa immersione di almeno uno di essi anche quando la barca naviga con angoli di rollio ingenti. Se al contrario venisse installato un unico timone montato in posizione centrale, esso dovrebbe avere una lunghezza notevole per mantenere una discreta superficie a contatto con l'acqua anche quando la barca procede inclinata verso l'uno o l'altro lato. Questo è indispensabile per garantire il perfetto governo dell'imbarcazione ma aumenterebbe notevolmente la superficie bagnata per angoli di rollio ridotti e di conseguenza la forza di resistenza all'avanzamento.
I due timoni sono collegati tramite una barra che collega il meccanismo di comando di ciascuno di essi in modo che il loro movimento sia comandato in maniera perfettamente parallela.
Entrambi i timoni sono installati con un opportuno angolo rispetto all'asse verticale dell'imbarcazione in modo che durante le andature a barca inclinata il timone che si trova completamente immerso in acqua abbia la massima efficienza idrodinamica. In queste condizioni il timone che si trova sul lato opposto dell'imbarcazione incontra il flusso d'acqua con un angolo tale da fornire una notevole forza di resistenza, anche se la sua superficie si trova parzialmente al di fuori dal livello dell'acqua.

Figura 3.17. Particolare della pala del timone destra in condizioni di barca sbandata. Si nota la quasi totale emersione del componente.

Per evitare questo inconveniente è possibile concedere un certo grado di libertà rotazionale a questo timone in modo che esso possa assumere una nuova condizione di equilibrio sotto l’azione del flusso d’acqua incontrato. Il suo profilo formerà con la direzione di avanzamento un angolo piccolo determinando una notevole riduzione della forza di resistenza all’avanzamento.
Per chiarire il funzionamento del meccanismo che consente di effettuare l’operazione appena descritta è necessario effettuare un passo indietro e descrivere più nel dettaglio il sistema di timonerie di questo tipo di imbarcazioni. Per le considerazioni seguenti fare riferimento alla figura 3.18.
Tipicamente queste barche presentano due ruote di comando (1, 2) posizionate nel pozzetto le quali muovono dei cavi chiamati frenelli che a loro volta imprimono la rotazione a delle ruote dette settori (3, 4) (posizionate al di sotto del piano di coperta) ciascuna collegata all’asse delle pala. Come si vede dalla schematizzazione ogni ruota comanda il settore e di conseguenza la pala posta sul lato opposto della barca. Questo perché il timoniere deve stare sul lato da cui proviene il vento mentre la pala immersa in acqua si trova sul lato opposto. Una barra di accoppiamento (5) vincolata ai due settori (3, 4) accoppia il movimento dei due meccanismi.
L’imbarcazione in questione dispone di un cilindro oleodinamico a doppio effetto il cui stelo è collegato ad uno dei due estremi della barra di accoppiamento. Azionando il cilindro viene spostato il punto in cui la barra si accoppia al settore. Questo concede un piccolo gioco laterale alla barra e di conseguenza alla pala non direttamente comandata.

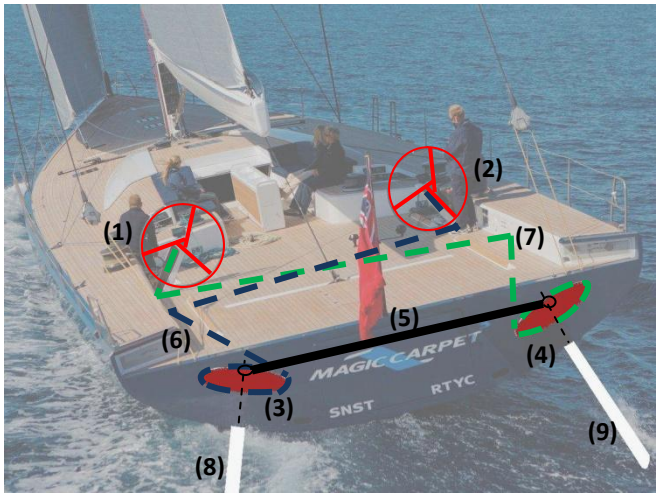


Figura 3.18. Schematizzazione del sistema di governo dell’imbarcazione. I componenti principali sono: le ruote del timone (1 e 2), i settori (3 e 4), i frenelli (6 e 7), la barra di accoppiamento (5), le pale (8 e 9).

Diametro camera [mm]	25
Corsa pistone [mm]	44
Diametro stelo [mm]	12
Massa a secco [g]	560
Volume massimo olio culatta [dm^3]	0018
Volume massimo olio testata [dm^3]	0,022

Tabella 3.17. Principali caratteristiche cilindro della timoneria.

3.4.4.3 Sistema di sollevamento della chiglia

Le imbarcazioni di questo tipo sono dotate di una chiglia a bulbo costituita da una zavorra posta all'estremità di una deriva posizionata lungo l'asse di mezzeria dell'imbarcazione, nella sua parte centrale, e collegata agli elementi strutturali dello scafo (per maggiori dettagli riferirsi al paragrafo 1.2 del capitolo 1). Quando la barca naviga la risultante della forza aerodinamica (Fa) che nasce dall'interazione tra le vele ed il vento è applicata in un punto che si trova ad una certa quota rispetto al pelo libero dell'acqua. Ciò genera una coppia sbandante che tende a far inclinare la barca dal lato opposto rispetto a quello di provenienza del vento. A questo bisogna sommare l'effetto della forza di portanza idrodinamica (Fi) sviluppata dalle parti immerse, la quale si oppone allo spostamento laterale della barca ma contribuisce alla sua rotazione. L'imbarcazione raggiungerà una condizione di equilibrio quando l'azione di queste forze verrà perfettamente bilanciata dall'effetto che la forza peso (Fp) e la forza di spinta idrostatica (Fi) hanno sull'intero sistema. Esse generano una coppia stabilizzante, proporzionale alla distanza fra le due direzioni di applicazione (b), la quale tende a raddrizzare la barca.
La forza di gravità (Fp) è applicata nel baricentro del sistema, essa genera un momento raddrizzante tanto più ingente tanto più questo punto si trova al di sotto dello scafo. Da qui l'importanza di dotare l'imbarcazione di una zavorra da posizionare il più in basso possibile. Per limitare la forza resistente essa dovrà avere una forma affusolata, inoltre dovrà essere realizzata in materiale ad alta densità (tipicamente piombo) per limitare la superficie bagnata ed i volumi di fluido spostati.
La forza di spinta idrostatica (Fs) è invece applicata nel baricentro della massa di fluido spostato la quale cambia al variare dell'angolo di inclinazione della nave. La figura 3.19 riporta le forze che agiscono sul sistema in differenti condizioni di equilibrio.

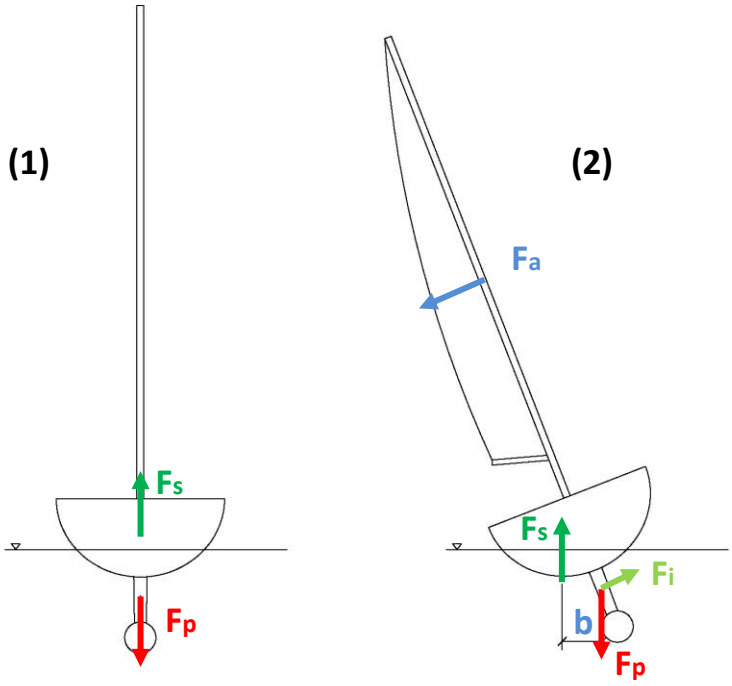


Figura 3.19. Indicazione delle forze agenti sull'imbarcazione in condizione di equilibrio statico (1) ed in condizione di moto a regime (2).

L'analisi dell'equilibrio del sistema è un aspetto molto importante nella progettazione di una barca perché da ciò dipenderanno la possibilità di sfruttare la sua massima superficie velica e l'angolo di rollio raggiunto nelle differenti condizioni. Questi fattori influiscono notevolmente sulle prestazioni, quantificate in genere come velocità di avanzamento.

Un aspetto non trascurabile, soprattutto per le barche a vela di notevoli dimensioni come è il caso del *Magic Carpet Cubed*, è il pescaggio massimo, determinato dalla posizione del bulbo. Un bulbo posizionato molto in basso rispetto al fondo dello scafo determinerà una maggiore stabilità dell'imbarcazione ma per contro l'impossibilità di accesso a molti porti turistici per via del basso fondale che essi presentano. Al contrario un bulbo posizionato più vicino allo scafo permetterà un facile accesso ai porti ma determinerà una posizione del baricentro più elevata e di conseguenza una riduzione delle prestazioni della barca. Per coniugare gli aspetti positivi delle due soluzioni sono nate le chiglie sollevabili. Specifici meccanismi comandati da cilindri oleodinamici a doppio effetto, collegati alla parte superiore della deriva, consentono il sollevamento dell'intero sistema e la riduzione del pescaggio.

La barca in questione è dotata di un sistema composto da tre cilindri oleodinamici alimentati dalla linea dell'olio in "alta pressione". Essi sono collegati alla parte superiore della deriva la quale scorre su apposite guide all'interno di una cassa ricavata nello scafo. Il meccanismo consente un sollevamento della chiglia di 1,7 m riducendo il pescaggio a 4,5 m, valore sufficiente a garantire l'accesso alla maggior parte dei porti. Le caratteristiche dei cilindri non sono disponibili in quanto forniti da un altro produttore. La pressione massima di lavoro è pari a 70 MPa ed è necessaria a garantire il sollevamento della massa di deriva e bulbo complessivamente pari a 20000 kg.

3.4.4.4 Salpancora

L'ancora è un dispositivo che permette di vincolare un'imbarcazione al fondo marino, rendendone sicuro lo stazionamento nonostante il vento, le correnti ed i moti ondosi. Un'ancora lavora esercitando le forze di resistenza sufficienti a trattenere l'imbarcazione a cui essa è collegata. Sono due i modi primari di realizzare questa azione: tramite il peso, che tende a spingere l'ancora sul fondo, e tramite la sua forma, che permette una presa ottimale dei fondali. Durante le operazioni di ancoraggio la lunghezza del cavo o della catena filati fuoribordo deve essere pari a tre o quattro volte la profondità del fondale, questo per condizioni di mare calmo. In condizioni di maltempo o aumento del vento, è invece opportuno rilasciare ulteriormente il cavo di collegamento in modo che l'ancora riceva una forza di trazione con un angolo piccolo rispetto al fondale in modo da evitare un suo possibile sollevamento.
Da queste considerazioni si capisce come una barca che presenta una stazza intorno a 50000 kg necessiti di un'ancora con una massa decisamente elevata (superiore a 100 kg), inoltre in caso di ancoraggio in fondali profondi la lunghezza del cavo da rilasciare e successivamente avvolgere può raggiungere i 100 m.
Da questo nasce la necessità di utilizzare un dispositivo atto a rendere semplice ed agevole il suo utilizzo. La soluzione più comune prevede l'utilizzo di un motore elettrico connesso ad un verricello. Ma la presenza a bordo dell'imbarcazione di un impianto oleodinamico garantisce una fonte di potenza utilizzabile per l'alimentazione del dispositivo. Il meccanismo è costituito da un verricello il cui asse è collegato ad un motore oleodinamico alimentato tramite un apposito distributore. Esso presenta delle elettrovalvole a controllo proporzionale che consentono la regolazione delle luci di passaggio dell'olio dalle quali dipende la portata transitante e quindi la velocità di rotazione del dispositivo. Inoltre invertendo la luce di alimentazione dell'olio al motore con quella di scarico è possibile invertire il suo senso di rotazione. Sul tamburo del

verricello viene collegato un cavo o una catena che si avvolge su di esso e alla cui estremità e collegata l'ancora.
Il sistema garantisce facilità di utilizzo e velocità di funzionamento, aspetti fondamentali per assicurare la sicurezza della nave e delle persone che si trovano a bordo di essa.

3.4.4.5 Dissalatore

Grazie ai dissalatori è ormai possibile avere un'autonomia d'acqua a bordo di un'imbarcazione pressoché illimitata.
Questi sistemi sono costituiti da opportuni circuiti che prelevano l'acqua di mare da una presa posta al di sotto della linea di galleggiamento e la inviano a dei sistemi di filtraggio. In genere questi dispositivi presentano una prima pompa dell'acqua operante in bassa pressione, tipicamente alimentata da un motore elettrico, la quale invia il fluido ad una seconda pompa (1) (anch'essa alimentata elettricamente) inviante l'acqua ad una membrana di filtraggio ed in grado di sostenere alti livelli di pressione. Il fluido desalinizzato (pari a circa il 10% di quella totalmente aspirato) viene infine inviato al serbatoio dell'acqua dolce e resta disponibile alle utenze idriche della barca.
Anche in questo caso la presenza di un circuito con olio in pressione garantisce una fonte di potenza utilizzabile dal sistema appena descritto. In particolare un motore oleodinamico ad ingranaggi (1) è collegato all'asse della pompa in alta pressione (2) la quale aspira l'acqua dal circuito e la invia al sistema di filtraggio. L'intero apparato garantisce affidabilità ed efficienza.

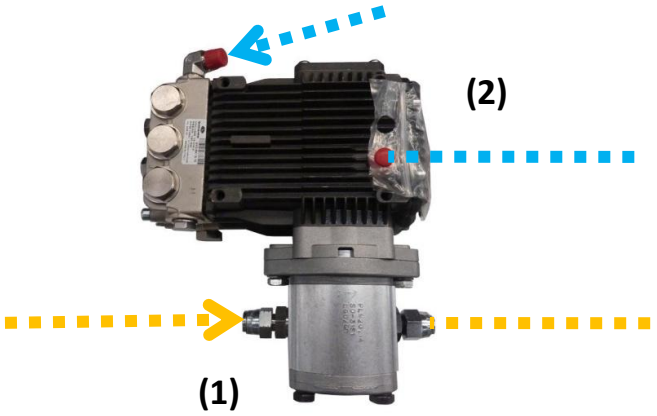


Figura 3.20. Sistema di generazione flusso ad alta pressione nell'impianto di dissalazione. Schematizzazione dei flussi di olio e acqua.

3.4.4.6 Scambiatore di calore

Nel processo di trasmissione della potenza, che parte dal motore primo e termina con la macchina azionata, una quota della potenza immessa va perduta all'interno del sistema oleodinamico e si converte in potenza termica (calore). Una modesta porzione si disperde contemporaneamente nell'ambiente circostante, ma la maggior parte si trasferisce all'olio, provocando un innalzamento della temperatura che in certe condizioni può creare seri problemi. Alcuna cause di dissipazione della potenza come le perdite di carico distribuite e concentrate nella linea di trasmissione e le perdite volumetriche ed idromeccaniche di pompe e motori idraulici sono già state analizzate nei paragrafi 2.6.1 e 2.7.1. Altre consistenti cause di dissipazione della potenza sono dovute alla parzializzazione della portata della pompa mediante scarico intermittente o sistematico attraverso una valvola limitatrice, all'intervento di valvole di strozzamento e di valvole riduttrici di pressione, al controllo per strozzamento nei distributori, nelle valvole di regolazione e nelle servovalvole.
Il riscaldamento dell'olio si traduce in un innalzamento di temperatura, se il suo valore non viene mantenuto sotto controllo il sistema può andare incontro ad una serie di disfunzioni e di danni funzionali ed economici. In particolare quando la temperatura dell'olio supera una determinata soglia critica esso subisce una progressiva riduzione della viscosità, del potere lubrificante, dell'effetto di tenuta, e va incontro ad un processo di invecchiamento che porta alla formazione di depositi con necessità di frequenti sostituzioni. Inoltre il surriscaldamento dei componenti che ne consegue, porta all'aumento dei giochi d'accoppiamento e delle fughe interne, danni alle guarnizioni, alterazione della precisione di controllo e regolazione.
Quando si immette calore in un sistema oleodinamico, la temperatura dell'olio e dei componenti tende a salire, fino ad assumere a regime un valore stazionario, che dipende dalla misura con cui viene attuata con mezzi naturali o forzati la dispersione verso l'ambiente. Un esempio di andamento della temperatura è illustrato dalla figura 3.21, che mette sostanzialmente in evidenza tre fasi. Una prima fase di riscaldamento in cui quasi tutto il calore contribuisce ad incrementare la temperatura del fluido. Una fase successiva in cui a causa dell'aumento di temperatura, e quindi del salto termico rispetto all'ambiente, il riscaldamento viene parzialmente contrastato da una dispersione verso l'ambiente stesso, per cui il profilo di temperatura diventa meno ripido e tende ad un certo punto ad assumere andamento orizzontale. Infine con la messa a riposo dell'impianto la temperatura tende a ridursi, prima rapidamente (per effetto dell''elevato salto termico rispetto all'ambiente) e quindi più lentamente, per assumere un andamento che entro un tempo sufficientemente lungo tende asintoticamente alla temperatura ambiente. I profili riportati in figura hanno valore

puramente indicativo e possono ampiamente variare in funzione del valore della potenza termica immessa nel sistema, della temperatura ambiente e dei metodi di dispersione termica adottati.

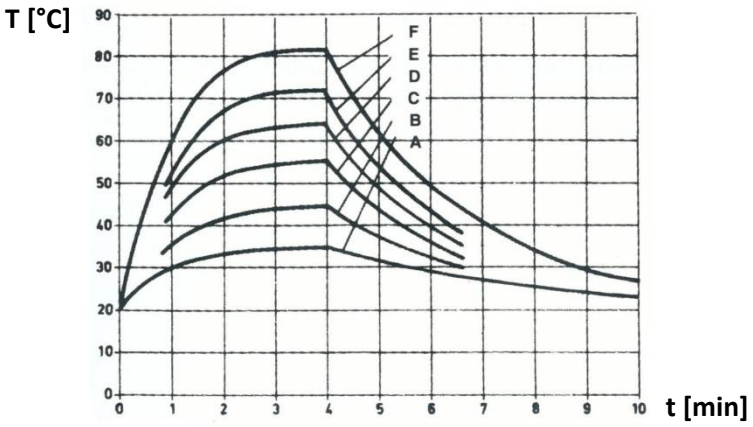


Figura 3.21. Andamento della temperatura dell'olio in un impianto nelle varie fasi di funzionamento al variare del tempo. Le curve da A a F si riferiscono a valori crescenti della potenza termica immessa.

Il riscaldamento dell'olio dalla temperatura ambiente (impianto freddo) a quella d'esercizio è di per sé un fenomeno desiderato e utile, a condizione che la temperatura raggiunta a regime sia contenuta entro i limiti prescritti dai progettisti del sistema. Per la maggioranza delle applicazioni si considera ottimale una temperatura dell'olio intorno a 50 °C poiché le caratteristiche di fluido, pompe, motori, valvole, guarnizioni sono ottimizzate per quella temperatura. Per evitare un suo aumento incontrollato è possibile attuare delle misure preventive ed eventualmente adottare delle tecniche di raffreddamento. Una progettazione rigorosa che prevede un accurato dimensionamento di componenti, tubazioni, serbatoi, l'impiego di pompe e motori con alti valori di rendimento e la scelta di un liquido idraulico con la classe di viscosità appropriata può risolvere in parte questo problema. Ma nel caso di elevate potenze questo non è sufficiente ed il progettista dovrà prevedere un adeguato sistema di raffreddamento.
La tecnica più semplice per limitare la temperatura di regime sotto il valore compatibile con le caratteristiche dell'olio e con le specifiche dei componenti, prevede l'installazione nell'impianto di un serbatoio di adeguate dimensioni, eventualmente alettato per migliorare l'efficienza di scambio fra le pareti e l'aria. Questo è il raffreddamento naturale, adatto ad impianti di piccole dimensioni e funzionanti per intervalli di tempo limitati, presenta però una serie di limitazioni che rende questa

tecnica di raffreddamento inadatta agli impianti più grandi. L'efficienza di scambio del serbatoio è relativamente bassa, inoltre le sue dimensioni devono essere contenute per limitare gli ingombri, i costi ed i volumi di olio.
Questi problemi vengono risolti mediante il raffreddamento forzato, da eseguire con appositi scambiatori termici, di cui esistono sostanzialmente due tipologie: olio-acqua e olio-aria. La scelta dipende da fattori ambientali e funzionali; sulle imbarcazioni si preferisce la prima tipologia in quanto consente lo scambio del calore con l'acqua del mare e permette l'installazione del componente sotto la coperta senza che sia necessaria la presenza di prese d'aria. Inoltre presentano un'efficienza nettamente superiore a parità di ingombro, sono esenti da rumorosità e il loro funzionamento è perfettamente controllabile in termini di inserzione e disinserzione per mezzo di un termostato immerso in olio. In entrambi i casi occorre trattare la massima portata d'olio possibile, ossia montare lo scambiatore sulla tubazione generale di ritorno, inoltre esso va protetto dalle sovrapressioni [6].
Riferendoci al sistema installato nell'impianto della barca in questione, esso presenta un serbatoio dell'olio suddiviso in tre unità con capacità pari a 100 dm^3 ciascuna, ciò garantisce un'elevata inerzia termica per via del grande volume di fluido presente ed una maggiore superficie di scambio con l'ambiente. Inoltre nell'impianto è presente uno scambiatore a piastre (1) all'interno del quale scorrere l'olio di ritorno dalla utenze.
Questi scambiatori di calore a superficie sono costituiti da una serie di piastre metalliche di forma approssimativamente rettangolare, disposte l'una accanto all'altra delimitando dei volumi in cui i fluidi si avvicendano con flusso in controcorrente. Le piastre sono appositamente sagomate (in modo da aumentare la superficie di scambio, la turbolenza ed incrementare la resistenza alla flessione) e mantenute separate attraverso guarnizioni in gomma, alloggiate in appositi solchi laterali, che garantiscono la tenuta idraulica verso l'esterno ed intorno ai fori di passaggio. Ciascuna piastra è a contatto da un lato con il fluido caldo e dall'altro con il fluido freddo in maniera alternata. L'alimentazione e lo scarico dei fluidi avviene tramite dei fori ricavati agli angoli delle piastre. Esse sono impaccate a pressione in un opportuno telaio.
L'unità di controllo centrale (plc) monitora costantemente la temperatura del fluido nel circuito mediante un apposito sensore di temperatura installato sul distributore dal quale le pompe aspirano l'olio. Quando il segnale inviato da questo sensore supera un determinato valore, impostato in fase di programmazione e superiore ad una determinata soglia di temperatura, il sistema di controllo provvede all'attivazione di determinate valvole destinate all'alimentazione di un motore oleodinamico (2) collegato ad una pompa (3) che aspira l'acqua marina da una bocca nello scafo, posta

al di sotto della linea di galleggiamento, e la invia allo scambiatore di calore. Appositi trasduttori di pressione posti all’ingresso ed all’uscita dello scambiatore consentono all’unità di gestione centrale il controllo della pressione nel componente e l’invio di un segnale di pericolo in caso di un suo aumento anomalo.
L’intero sistema ha il vantaggio di garantire un coefficiente di scambio termico elevato pur contenendo i volumi e le masse. Inoltre in caso di modifica dell’impianto o delle sue modalità di funzionamento, è facilmente ampliabile mediante l’aggiunta di piastre al dispositivo di scambio. Il sistema garantisce dunque una grande flessibilità, caratteristica molto importante per il tipo di applicazione a cui l’impianto è destinato.
Gli aspetti a cui bisogna prestare maggiore attenzione riguardano il possibile sporcamento delle superfici, a cui si può porre rimedio prestando attenzione alla pulizia dei filtri, ed il mantenimento di valori di pressione contenuti all’interno delle piastre di scambio, mediante l’inserimento di una valvola di bypass opportunamente tarata per aprirsi al raggiungimento di determinati livelli di pressione, di cui l’impianto in questione è dotato.
L’intero apparato garantisce il perfetto controllo della temperatura dell’olio, indispensabile per il corretto funzionamento dell’impianto, per la durata dei suoi componenti e per la conservazione del fluido.

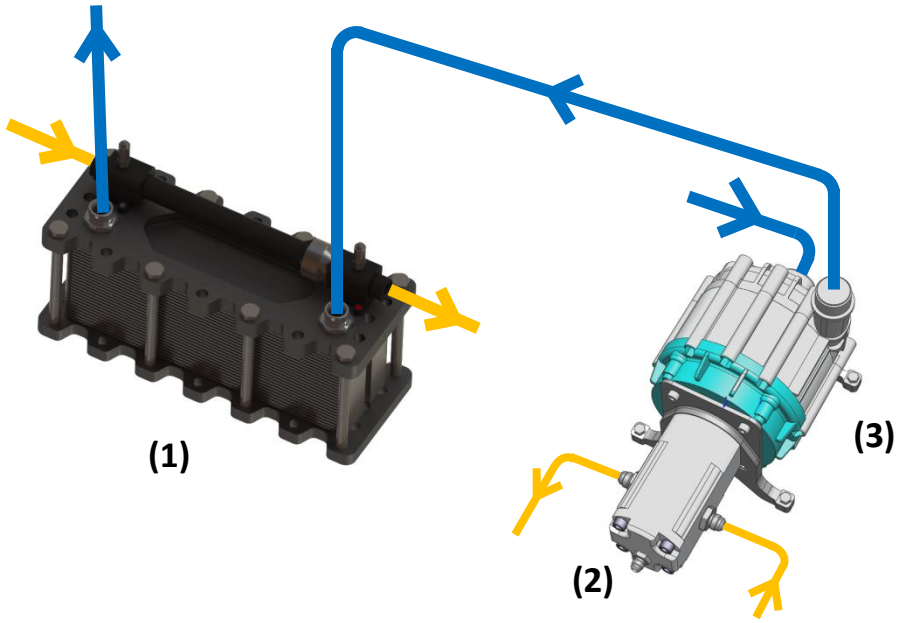


Figura 3.22. Schematizzazione impianto di raffreddamento dell’olio ad acqua di mare.

3.4.4.7 Ventilatore sala macchine

Le sale macchine delle imbarcazioni sono costituite da ambienti chiusi, di volume relativamente contenuto, in cui sono presenti la maggior parte dei dispositivi che consentono il "funzionamento" dell'intero sistema. Queste apparecchiature rappresentano delle fonti di calore ingenti che tendono a surriscaldare gli ambienti in cui esse sono contenute. Se non vengono apportati degli accorgimenti per limitare la temperatura di questi spazi, i dispositivi stessi che si trovano al loro interno potrebbero andare incontro a seri danni, inoltre questi ambienti risulterebbero inaccessibili alle persone addette al controllo ed alla manutenzione, per via delle alte temperature raggiunte. E' dunque indispensabile dotare questi spazi di opportuni dispositivi di ventilazione atti a garantire un ricambio dell'aria e quindi uno smaltimento del calore presente.
Nella sala macchine del *Magic Carpet Cubed* sono presenti due motori endotermici a ciclo diesel (in alcune condizioni con funzionamento simultaneo), le pompe oleodinamiche, il serbatoio dell'olio, lo scambiatore di calore ad acqua di mare, il generatore di energia elettrica, due motori elettrici collegati ad altrettanti pompe, il motore oleodinamico che comanda il sistema propulsivo, e inoltre una parte dei condotti, dei distributori e delle valvole che costituiscono il circuito.
Il rendimento complessivo dei motori endotermici difficilmente supera il 40% nella condizione di miglior funzionamento, la quota di energia che la macchina non può sfruttare viene nella misura maggiore rilasciata sotto forma di calore, attraverso i gas di scarico e dissipazioni attraverso le superfici della macchina stessa. Si capisce come il problema dello smaltimento del calore assuma un'importanza notevole soprattutto quando le potenze in gioco assumono valori considerevoli (superiori a 200 kW).
Per scongiurare il danneggiamento delle parti dei diversi componenti (specialmente delle guarnizioni di tenuta realizzate in elastomero) si è resa indispensabile l'installazione all'interno della sala macchine di un ventilatore. Esso è mosso da un motore oleodinamico ad ingranaggi alimentato della linea dell'olio in "bassa pressione". Questa soluzione rappresenta un'alternativa all'utilizzo di motori elettrici, soluzione tipicamente utilizzata per il funzionamento di questi meccanismi.

Lo sfruttamento della potenza dell'impianto oleodinamico presente sull'imbarcazione per la movimentazione delle utenze ausiliarie, rappresenta una soluzione intelligente che rende completo lo sfruttamento delle potenzialità offerte dal sistema. Il livello di complicazione nella realizzazione dell'impianto e nella sua gestione non viene sensibilmente aumentato e la richiesta ulteriore di potenza è di due ordini di grandezza inferiore rispetto a quella delle utenze principali. Questo non implica dunque un sostanziale aumento della potenza massima che i motori primi devono

fornire e l’unico accorgimento da tenere in fase di definizione del progetto riguarda la determinazione delle contemporaneità di funzionamento delle differenti utenze.
L’oleodinamica consente dunque ai progettisti la realizzazione di impianti destinati al controllo di tutte le funzioni presenti sulla barca.

Figura 3.23. Ventilatore sala macchine.

3.5 L’impianto oleodinamico nel suo complesso

Come esposto nei paragrafi precedenti sono innumerevoli le utenze che si trovano a bordo dell’imbarcazione. Se poi si considerano le differenti modalità di utilizzo che la barca offre si capisce come il sistema si trovi a funzionare in un numero elevato di condizioni differenti. Per garantire la massima flessibilità nel rispondere a queste esigenze, l’impianto prevede quattro differenti fonti di potenza. Questo ha implicato un notevole incremento della complicazione del sistema soprattutto per quanto riguarda la definizione della sua conduzione. Inoltre la gestione di tutte le funzionalità ha richiesto la stesura di un’opportuna logica che è stata implementata in un sistema di controllo informatico.
Una tale complessità, anche se rappresenta un aspetto per certi versi negativo in quanto porta a maggiori difficoltà nella messa a punto dei sistemi ed alla risoluzione dei problemi che si possono verificare in fase di funzionamento, rappresenta il prezzo da pagare se si vuole rendere fortemente automatizzata un’imbarcazione di questo livello.
Detto questo si può passare ad una descrizione sommaria del funzionamento del sistema.
Lo schema completo dell’impianto è allegato in fondo al testo.

3.5.1 Le fonti di potenza

La fonte principale di potenza è rappresentata da un motore endotermico a ciclo diesel in grado di sviluppare una potenza massima di 257 kW ad un regime di rotazione di 398 rad/s (3800 rpm). Esso movimenta tre differenti pompe disposte in serie e collegate all'albero di uscita tramite un apposito giunto. Rappresenta il componente dell'impianto col maggiore ingombro e con la maggiore massa. Le caratteristiche fondamentali per la scelta del motore sono nell'ordine: la potenza disponibile all'albero per una specifica velocità di rotazione compatibile con la velocità di rotazione delle pompe, la massa (per la macchina in questione pari a 460 kg a secco), la massima inclinazione supportabile durante il funzionamento ed infine il consumo di carburate.
Come enunciato nei paragrafi precedenti il sistema è stato concepito per attuare un controllo del motore in velocità. Esso deve funzionare ad un regime di rotazione ben definito e compatibile con i limiti di velocità delle pompe montate. I costruttori impongono limiti che difficilmente superano i 315 rad/s (3000 rpm). Velocità superiori causano perdite di efficienza e danneggiamenti delle macchine stesse.
Il secondo parametro per importanza nella scelta della macchina termica è senza dubbio la sua massa. Essa influenza le prestazioni della barca nonché il rispetto dei vincoli di stazza imposti dal regolamento di categoria. Il suo posizionamento a bordo influenza inoltre l'assetto ed il funzionamento dell'imbarcazione.
Un ulteriore fattore che non va assolutamente trascurato nella selezione della macchina più adatta è dato dai massimi angoli di inclinazione che essa può raggiungere durante il funzionamento. Nelle andature a vela, durante le quali l'impianto oleodinamico viene utilizzato per apportare le dovute regolazioni all'attrezzatura, l'imbarcazione può raggiungere angoli di rollio prossimi ai 20° che potrebbero causare problemi agli apparati di aspirazione e di scarico del motore termico, nonché ai sistemi di lubrificazione e raffreddamento.
Bisogna considerare infine il consumo di combustibile. Esso non è un parametro così stingente per questo tipo di barche in quanto per i lunghi spostamenti sfruttano in genere la propulsione a vela. Inoltre non si può presentare il problema che l'imbarcazione rimanga bloccata per mancanza di combustibile.
In base a queste considerazioni ed in base ai calcoli effettuati sul massimo fabbisogno di potenza, si è scelto di utilizzare il motore nella condizione di massima efficienza corrispondente ad un regime di rotazione pari a 272 rad/s (2600 rpm). La potenza erogata risulta pari a 200 kW ed il consumo specifico di combustibile risulta inferiore del 20% rispetto alla condizione di massima potenza. Inoltre il rumore generato risulta ridotto e compatibile ai vincoli regolamentari.

La seconda fonte di potenza è costituita da un altro motore endotermico a ciclo diesel con dimensioni e prestazioni inferiori rispetto al precedente. Esso è in grado di erogare una potenza massima pari a 55 kW, mentre la massa complessiva a secco è uguale a 264 kg. Esso movimenta due differenti pompe disposte in serie e collegate all'albero di uscita con le stesse modalità del sistema precedentemente esposto. Questa unità svolge una funzione di supporto al motore principale ed è in grado di sostituirlo parzialmente in caso di mancato funzionamento di questo. La peculiarità di questo sistema è data dal fatto che esso può essere rimosso dall'imbarcazione quando questa viene preparata alle regate. In questo modo è possibile ottenere una riduzione della sua massa complessiva (intorno a 300 kg) e un abbassamento del baricentro con conseguente aumento del momento raddrizzante. A ciò segue senza dubbio un miglioramento delle prestazioni, anche se non è stata fatta una quantificazione effettiva. Per facilitarne le operazioni di montaggio e rimozione, l'intera unità è stata sistemata all'interno di un apposito vano costituito da una struttura di tubi di lega di alluminio 6082 T6 saldati che costituisce un unico componente vincolato ad una struttura dedicata posta nella sala macchine. Il vano è sigillato da un isolamento acustico e racchiude al proprio interno un'unità di ventilazione elettrica ed il sistema di post trattamento dei gas combusti.

Quando il sistema viene montato a bordo della barca le imboccature delle pompe devono essere collegate alle linee del circuito. Le valvole di intercettazione a sfera, necessarie ad isolare la parte del sistema che può essere rimossa, dovranno essere completamente aperte per mettere in comunicazione tutte le parti dell'impianto.

Alle fonti di potenza già menzionate si aggiungono due motori elettrici a spazzole alimentati in corrente continua a 24 V, ciascuno dei quali collegato ad una pompa a pistoni assiali connessa a due linee di mandata di flusso. Ciascun motore è collegato elettricamente ad un avviatore dolce; si tratta di dispositivi composti da un'elettronica di potenza totalmente controllata da un sistema di comando a microprocessore. Il funzionamento di questi dispositivi si basa sulla parzializzazione della tensione di rete in modo da aumentarla gradualmente fino al raggiungimento di un valore nominale. In questo modo l'avviamento della macchina è più dolce e la potenza richiesta non presenta un brusco incremento. Ogni motore è inoltre dotato di un sistema di protezione atto ad arrestarlo nel caso di superamento di una soglia di temperatura critica. In questo modo la macchina risulta protetta da possibili sovraccarichi.

L'utilizzo di questi dispositivi ha il vantaggio di offrire una fonte di potenza molto compatta, dalle masse ridotte, con tempi di avviamento molto piccoli, risultano dunque ottimi se utilizzati per brevi istanti quando i motori endotermici non sono in funzione. Naturalmente la potenza che possono erogare è ridotta, con un picco pari a 9 kW per ciascuna macchina. In questa condizione le uniche utenze che possono

funzionare sono quelle relative alle manovre veliche con un numero ridotto di contemporaneità.

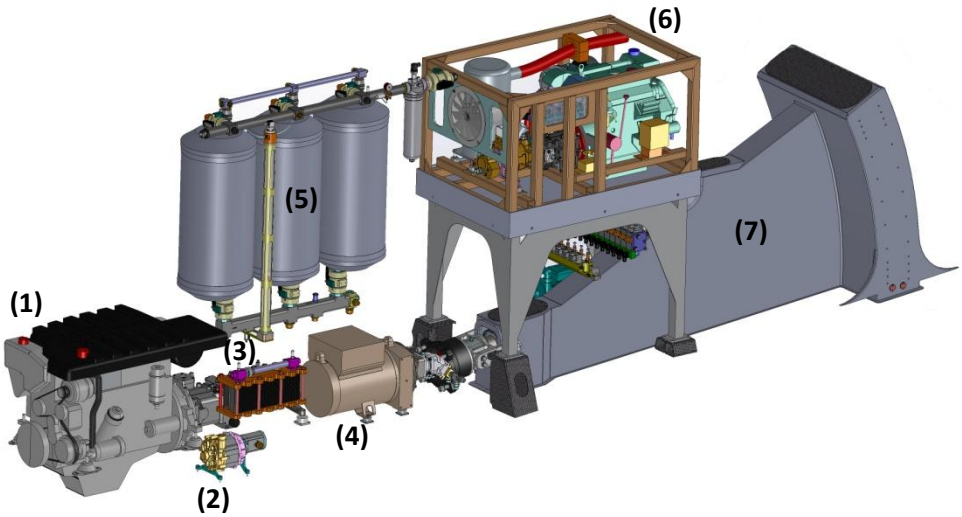


Figura 3.24. Disposizione componenti all'interno della sala macchine. Partendo dalla parte più a prua è possibile distinguere: motore endotermico principale (1), pompa dell'acqua (2), scambiatore di calore (3), alternatore (4), serbatoio (5), motore endotermico secondario e struttura di supporto (6), contenitore skeg (7).

3.5.2 Principi di funzionamento

Lo scopo di questo paragrafo è quello di fornire una descrizione sommaria del funzionamento dell'impianto. Con questo si intende definire le modalità con le quali opera, senza addentrarsi sullo specifico intervento di tutte le valvole necessarie al funzionamento di una specifica funzione.
Per semplificare la spiegazione l'impianto viene suddiviso in diversi sottosistemi corrispondenti a differenti modalità di funzionamento. Vengono perciò creati semplici disegni che hanno lo scopo di esporre il funzionamento del sistema dal punto di vista concettuale prescindendo dalla definitiva configurazione realizzativa.
La figura 3.25 rappresenta una semplificazione dell'impianto in cui l'unica fonte di potenza presente è quella principale. Il motore endotermico (1) è connesso ad una prima pompa a cilindrata variabile (2), essa mette in circolazione il fluido e lo invia ad un distributore (5) che provvede ad indirizzarlo al motore oleodinamico (6) collegato al sistema di propulsivo. Pompa, distributore e motore oleodinamico sono collegati in circuito chiuso tramite una linea di andata ed una di ritorno (le quali possono essere

invertite). Le macchine oleodinamiche sono inoltre collegate al serbatoio (21) tramite una linea di scarico necessaria ad evacuare la quantità di olio che trafila fra i componenti interni delle macchine stesse. Per reintegrare tale volume d’olio e per garantirne un continuo ricambio indispensabile a mantenere sotto controllo la sua temperatura, una pompa ausiliaria integrata in quella principale aspira una certa quantità di fluido dal serbatoio (21) (costituito da tre unità distinte per motivi di ingombro e di sicurezza) mettendola in circolazione nel sistema. Come descritto nel paragrafo 3.4.2 è possibile intervenire sui componenti interni della pompa per invertire le porte di aspirazione e scarico per cambiare il senso di rotazione dell’utenza.

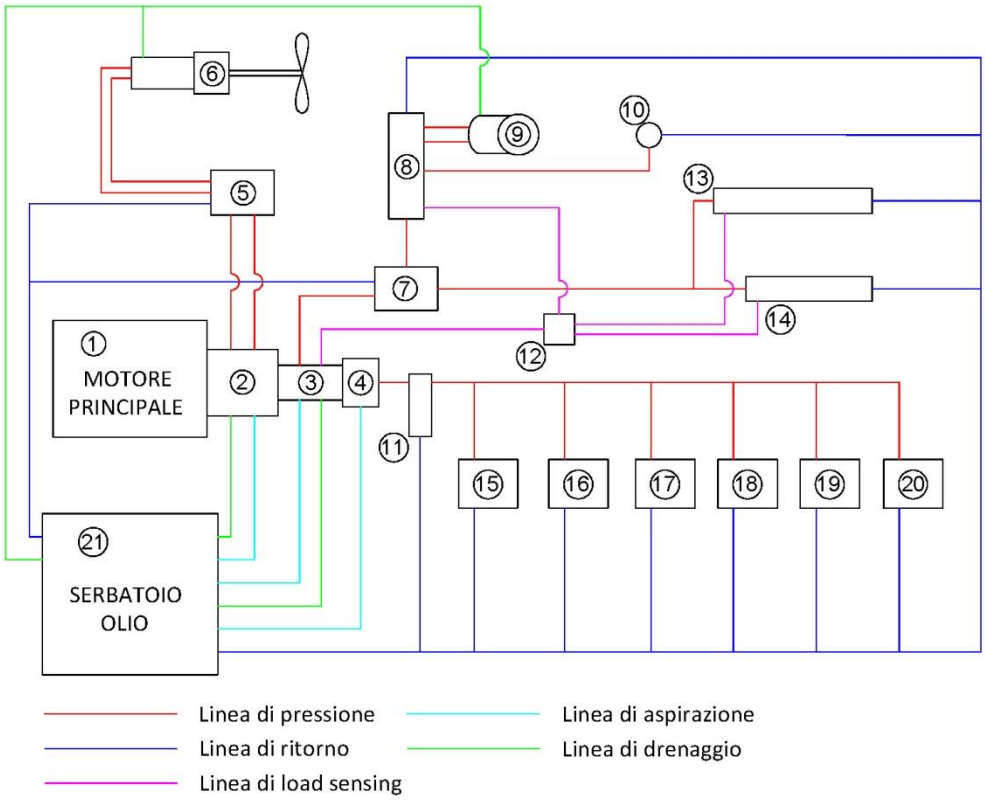


Figura 3.25. Schema semplificato di impianto nelle modalità di funzionamento regata e regata-crociera.

Una seconda pompa (anch’essa a cilindrata variabile) (3) aspira olio dal serbatoio (21) e lo invia ad un distributore (7) il quale gestisce la linea di “bassa pressione”. Comandando opportunamente l’apertura e la chiusa delle valvole che si trovano al suo

interno è possibile indirizzare il flusso verso taluni distributori ((8) oppure (13) e (14)) a loro volta connessi direttamente alle utenze. Uno di questi collettori (8) alimenta l'alternatore (9) ed il ventilatore della sala macchine (10), mentre i restanti due alimentano una serie di utenze differenti relative a funzioni veliche ed ausiliarie. Particolarità di questi distributori è quella di presentare una doppia linea di collegamento alla pompa di alimentazione. Oltre alla linea di mondata dell'olio, infatti, ne è presente una seconda (definita linea di load sensing) che permette ad una piccola quantità di fluido di fluire dal collettore verso la pompa permettendo a questa di adattarsi alle condizioni di carico. Un opportuno distributore (12) permette di convogliare le tre linee in una sola diretta alla macchina idraulica.

Un'ultima pompa è collegata in serie alle precedenti. Si tratta di una macchina a pistoni radiali in grado di generare portate modeste ma a pressioni operative che possono raggiungere i 70 MPa (700 bar). Essa aspira olio dal serbatoio (21) ed alimenta sei differenti collettori ((15), (16), (17), (18), (19) e (20)) che a loro volta alimentano una serie di cilindri a singolo e doppio effetto.

Per permettere all'olio di defluire dall'utenza e ritornare in circolo, tutti i distributori sono collegati al serbatoio (21) tramite linee di ritorno.

Perché il sistema possa funzionare correttamente in ogni condizione di utilizzo l'impianto deve prevedere opportuni accorgimenti. In particolare essendo motore primo e pompe collegati da un accoppiamento rigido non scollegabile (assenza di frizioni) ne consegue che ogni qual volta esso verrà avviato metterà in funzione le pompe che erogheranno una certa quantità di portata. Per questo motivo lungo le linee di mandata delle pompe sono inseriti dei distributori ((5), (7) e (11)) che inviano l'intero flusso di olio al serbatoio (21) quando le valvole a controllo elettromagnetico in essi contenute non vengono eccitate. Questo permette di inviare il flusso d'olio solo nelle parti dell'impianto in cui è richiesto. Se così non fosse i rami delle utenze non in funzione entrerebbero in pressione in quanto il flusso di fluido sarebbe arrestato da valvole chiuse. I valori di pressione continuerebbero a salire fino al raggiungimento dei valori di apertura delle valvole di massima pressione. Questo causerebbe una grande dissipazione di energia, una maggiore sollecitazione di tutto il circuito ed un maggiore riscaldamento dell'olio.

A questo punto si passa a descrivere un'altra configurazione dell'impianto. Quella in cui la potenza è fornita dal secondo motore endotermico. Come mostra la figura 3.26 la macchina termica (1) è collegata ad una pompa a cilindrata variabile (2) dello stesso tipo di quella montata sul motore principale ma con cilindrata inferiore. Essa aspira olio dal serbatoio (21) e alimenta un distributore (7) che, come descritto in precedenza, è collegato ai collettori che alimentano le utenze funzionanti in "bassa pressione".

La differenza sostanziale rispetto allo schema di figura 3.25 riguarda il sistema di alimentazione del motore oleodinamico collegato al sistema propulsivo (6). In questo caso il distributore dedicato (5) non viene più alimentato direttamente da una pompa in circuito chiuso, ma tramite i collettori già descritti ((7) e (8)) dalla stessa pompa di alimentazione della linea di "bassa pressione". Questo decreterà una diminuzione della quantità di flusso (e quindi della potenza) a disposizione del sistema propulsivo durante il funzionamento contemporaneo delle utenze della stessa linea.
La pompa (2) ha un albero passante che la collega ad una seconda macchina (3), più piccola, dedicata alla linea di "alta pressione". Si tratta di una macchina a pistoni radiali caratterizzata da una portata molto limitata ma in grado di sostenere pressioni dell'ordine dei 70 MPa (700 bar). Quando nessuna delle utenze collegate a questa linea è in funzione, un distributore (4) devia il flusso d'olio verso il serbatoio (21) limitando il fabbisogno energetico del sistema.

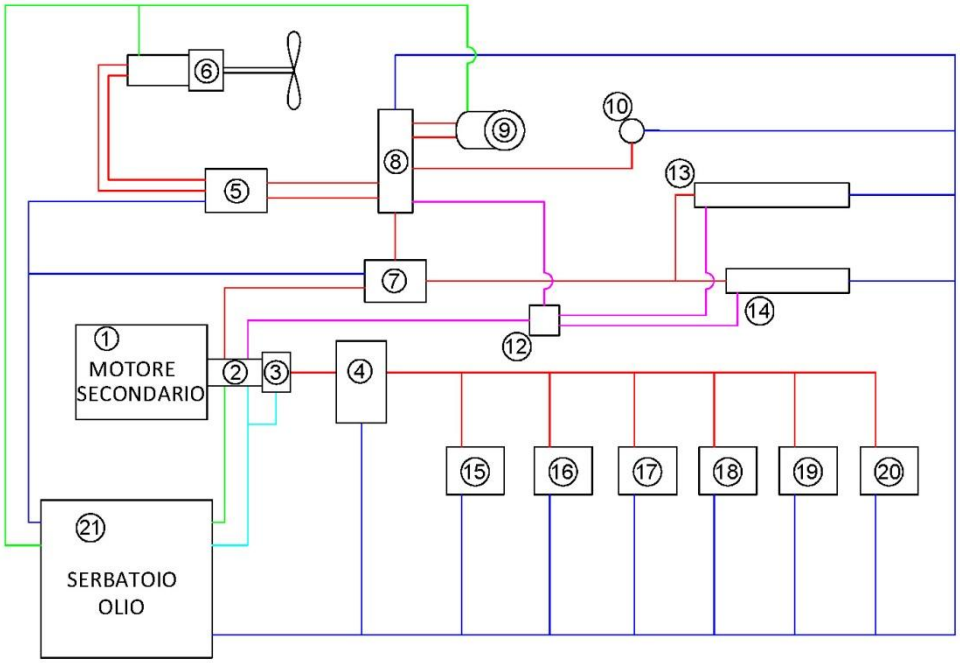


Figura 3.26. Schema semplificato di impianto in modalità di funzionamento emergenza.

La terza configurazione (figura 3.27) prevede l'utilizzo di due motori elettrici ((1) e (2)) come unica fonte di potenza. Ciascuno di essi è collegato ad una pompa ((3) e (5)) a pistoni radiali del tutto identica a quella che si trova installata sul motore principale. Il

fatto di avere due macchine distinte permette di gestire in maniera più efficiente il fabbisogno energetico delle varie utenze. Infatti se le quantità di flusso e di potenza richieste sono limitate, soltanto un motore elettrico verrà attivato mentre l'altro rimarrà in stato di attesa e pronto ad entrare in servizio in caso di bisogno. Le due macchine potranno così operare contemporaneamente, collegate insieme alla linea di "bassa pressione" o alla linea di "alta pressione", oppure una di esse potrà essere collegata alla linea di "bassa pressione" mentre l'altra verrà collegata alla linea di "alta pressione". La gestione dei flussi è assolta dagli stessi distributori ((4), (7) e (11)) descritti nelle configurazioni precedenti. In questa condizione di funzionamento sia il sistema propulsivo sia dell'alternatore non possono essere attivati in quanto il loro fabbisogno energetico è di gran lunga superiore a quello che può essere fornito dai motori elettrici. Per quanto riguarda il ventilatore della sala macchine, invece, non ci sono motivi per decretarne il funzionamento quando i motori endotermici risultano spenti. Per questi motivi i suddetti componenti non compaiono nello schema di figura 3.27.

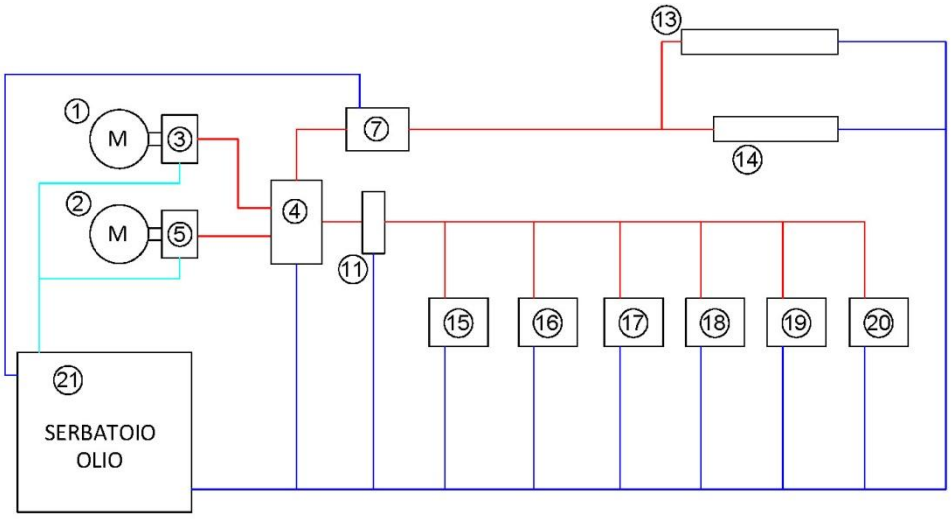


Figura 3.27. Schema semplificato di impianto in modalità di funzionamento elettrica.

3.5.3 Circuiti load sensing

Il load sensing è sostanzialmente un nuovo modo di concepire, grazie all'impiego di pompe, distributori e valvole di appropriate caratteristiche, il circuito idraulico per renderlo estremamente flessibile e adattabile alle condizioni operative richieste dal carico e indotte dallo stesso nel circuito.
La caratteristica principale è quella di ottenere la portata verso l'utenza, proporzionale alla posizione del cursore in qualunque condizione operativa, quindi indipendente dalla resistenza incontrata dall'utenza stessa (che si traduce nella generazione di una pressione) e indipendente dal numero dei comandi azionati (unica limitazione il superamento della portata complessiva fornita dalla pompa). In questo modo si ottiene una corrispondenza precisa tra il comando fornito dal controllore e il movimento dell'utenza alimentata, sia essa un cilindro o un motore idraulico. Questa caratteristica non si ottiene per nessun verso con i comandi idraulici convenzionali. Il nome load sensing deriva dal fatto che il risultato sopra descritto è legato ad una serie di regolazioni idrauliche che avvengono automaticamente in funzione del carico incontrato dall'utilizzatore. Attraverso questo principio operativo, che richiede come si è detto l'impiego di componenti idraulici di appropriate caratteristiche quali pompe a cilindrata regolabile, valvole proporzionali e valvole di priorità, si realizza un adattamento automatico dei parametri idraulici portata e pressione alle necessità istantanee delle utenze. Ne conseguono numerosi vantaggi: risparmio energetico, aumento di durata dei componenti, riduzione del calore dovuto alle dissipazioni di energia, diminuzione della rumorosità, possibilità di risolvere l'alimentazione del circuito con una singola pompa al posto di due. Un tempo i circuiti idraulici venivano concepiti semplicemente in funzione dei valori massimi previsti per la portata e la pressione. Quando un sistema concepito in questo modo opera, come prevalentemente accade, nello zone medie e basse di sollecitazione, è richiesto lo smaltimento sotto forma di calore di notevoli quote di energia dissipata e inutilizzata. Non è neppure pensabile che sistemi così concepiti consentano un vero controllo fine delle operazioni come richiesto per il comando delle operazioni di alcune macchine. La tecnologia load sensing pone rimedio a questi aspetti ed è particolarmente apprezzata nei settori delle macchine operatrici e mobili, caricatori, ruspe, escavatori, macchine per lavori forestali ed agricoli, in cui ogni fase di movimento ha esigenze di svolgimento specifiche e deve essere comandata singolarmente dell'operatore.
Se la pompa a cilindrata variabile è integrata nel sistema load sensing come generatore di flusso ossia se il suo regolatore di cilindrata riceve i segnali delle diverse sollecitazioni, la portata della pompa può adeguarsi esattamente ad ogni condizione d'esercizio ed essa assorbe istantaneamente dall'azionamento solo l'energia

strettamente occorrente. Sotto il profilo applicativo i sistemi di rilevamento del carico sono realizzabili in molte forme. In pratica quando si vuole risparmiare energia la condizione preliminare per la scelta del sistema è l'esatta conoscenza dei parametri di carico. Usando una pompa a cilindrata regolabile il valore massimo istantaneo di pressione presente in una tubazione di lavoro va rinviato al dispositivo di comando della variazione di cilindrata. La differenza di pressione esistente in uno strozzamento del cursore della valvola sotto azionamento rimane costante ed è indipendente dal carico in quanto il regolatore della pompa provvede automaticamente ad adeguare la portata.
Se le pressioni delle utenze sono diverse tra loro la velocità dell'utenza meno caricata continua ad aumentare e questo effetto è indesiderato. Un sistema di controllo dovrebbe perciò riportare il cursore in una posizione strozzata per produrre la differenza di pressione corrispondente all'utenza più caricata. Con il sistema load sensing il problema viene risolto tramite bilance di pressione sulla mandata di ciascuna valvola direzionale. In questo modo entrambe le utenze vengono controllate con precisione e indipendentemente dal carico. Una valvola selettrice fa si che il load sensing sia alimentato con il carico maggiore. Se poi la portata della pompa non è sufficiente per entrambe le utenze, si riduce spontaneamente la differenza di pressione sull'utenza più carica in modo che essa non provochi più un comportamento proporzionale di velocità [6].
Per quanto riguarda l'impianto in questione, esso presenta due pompe a cilindrata variabile controllate dal segnale di pressione proveniente dal circuito load sensing collegato ai collettori di "bassa pressione". Le due macchine idrauliche sono alimentate da due motori primi distinti e possono funzionare simultaneamente o singolarmente in base alla condizione di utilizzo del sistema. Per questo motivo si rende necessario un distributore ((12) nelle figure 3.25-26) atto ad indirizzare il flusso verso l'una o l'altra pompa.

3.6 Efficienza dell'impianto

In questo paragrafo si passa ad analizzare l'impianto dal punto di vista delle potenze in gioco, dei rendimenti e delle relative perdite di potenza nelle varie modalità di funzionamento.
Come descritto nei paragrafi precedenti ciascuna utenza ha bisogno di una definita quantità di potenza per poter funzionare correttamente in una determinata condizione. Bisogna poi considerare che tutti i componenti facenti parte del sistema (pompe, motori oleodinamici, filtri, scambiatori, tubazioni) determinano

indubbiamente delle perdite che vanno ad incrementare i valori di potenza che il motore primo deve essere in grado di erogare.
Per quanto riguarda le macchine oleodinamiche, tutte del tipo a pistoni, i valori dei rendimenti si attestano intorno al 90%. Da questo si capisce come l'abbinamento di una pompa e di un motore a formare una trasmissione idraulica della potenza determina di per sé un rendimento di poco superiore all'80%. Considerando poi le dissipazioni all'interno della linea di trasmissione (tubazioni, raccordi, distributori, valvole) le quali determinano una diminuzione della pressione di mandata e quindi della potenza trasmessa, si ottiene un rendimento complessivo approssimativamente pari al 70%.
La quota parte di potenza che non può essere utilizzata dall'utenza viene dissipata, in parte come flusso diretto al serbatoio (flussi di drenaggio di pompa e motore oleodinamico) e in parte come innalzamento della temperatura dell'olio e dei componenti.
Detto questo è possibile quantificare la potenza che i motori primi devono erogare. Per fare ciò è bene fare una distinzione fra le diverse modalità di funzionamento del sistema. Si tratta di cinque differenti condizioni di utilizzo che vengono automaticamente definite all'accensione dei motori primi e che il sistema di controllo riconosce permettendo o negando l'utilizzo di determinate utenze.
La modalità propulsiva rappresenta la condizione di utilizzo più gravosa dell'impianto. Essa prevede il funzionamento del solo motore endotermico principale atto ad alimentare il sistema di propulsione (157 kW[(1)]) ed eventualmente il generatore di energia elettrica (26 kW[(2)]) ed un ulteriore numero limitato di utenze (per una potenza massima di 12 kW).
La modalità regata rappresenta la seconda condizione di funzionamento. Essa prevede il funzionamento del solo motore endotermico principale atto ad alimentare un numero massimo di quattro utenze collegata alla linea di "bassa pressione" e contemporaneamente un numero massimo di tre utenze collegate alla linea di "alta pressione". In questo caso il carico sul motore risulta inferiore rispetto alla configurazione precedente.
Nella terza modalità denominata regata-crociera entrambi i motori endotermici sono in funzione. Il motore principale alimenta il sistema di propulsione ed in più un numero limitato di utenze (al massimo tre). Il secondo motore alimenta invece il generatore di energia elettrica ed il ventilatore della sala macchine fornendo una potenza complessiva intorno a 30 kW.

[(1)] Potenza richiesta dal sistema propulsivo in condizioni di massime prestazioni.
[(2)] Potenza richiesta dal sistema di generazione di energia elettrica nella condizione di massimo carico.

Nella modalità elettrica, denominata anche modalità silenziosa, i motori endotermici non vengono accesi e l'intero funzionamento dell'impianto è demandato a due macchine elettriche che si trovano in una condizione di attesa e vengono attivate dal sistema di controllo nel caso l'equipaggio della barca interpelli una qualche funzione. Essendo la potenza massima limitata a 18 kW il numero di funzioni attive nello stesso istante non dovrà superare il numero di due; inoltre, per evitare un eccessivo riscaldamento, i motori elettrici non possono operare per lunghi periodi lontano dalla condizione di funzionamento nominale (potenza fornita pari a 3 kW per ciascuna macchina). Per questi motivi non è pensabile, in questa modalità, il funzionamento del sistema propulsivo, del generatore di corrente, dello scambiatore di calore e del dissalatore.

Infine, quando l'impianto si trova in modalità emergenza, il motore secondario provvede al funzionamento del sistema propulsivo (con prestazioni ridotte) e, contemporaneamente, di un numero limitato di altre utenze (tre in "bassa pressione" oppure una in "alta pressione").

L'efficienza dell'impianto non può essere definita in maniera univoca. Essa dovrebbe essere determinata per ogni singolo stato di funzionamento, vale a dire per ogni pompa, per ogni utenza e per ogni condizione di carico che si traduce in differenti valori di pressione nelle linee. Dalla misura dei valori di portata e di pressione in opportuni punti del circuito (in genere a cavallo dei motori oleodinamici e dei collettori) è possibile determinare un rendimento medio della parte oleodinamica dell'impianto pari a circa 0,7. Il rendimento complessivo, invece, risente fortemente dei valori di rendimento dei motori endotermici (intorno a 0,45 nella condizione di massima efficienza) scendendo così ad un valore vicino a 0,32.

Capitolo 4

Funzionamento e gestione dell'impianto

In questo capitolo si passa ad una descrizione specifica del funzionamento dell'impianto. In pratica, dopo avere esposto le caratteristiche principali del sistema ed i compiti che esso deve svolgere, vengono descritte tutte quelle operazioni che intercorrono tra il comando impartito da un membro dell'equipaggio e lo svolgimento di una certa operazione. Si passa dunque alla descrizione del sistema di controllo e gestione dell'intero sistema, dei relativi problemi, dell'importanza di fornire all'utente tutte le informazioni necessarie al suo corretto funzionamento. Detto ciò non si vorrà addentrarsi nel descrivere tutte le modalità di intervento delle singole valvole presenti (135 per l'esattezza) al variare delle condizioni di utilizzo del sistema, ma basterà definire i principi comuni al funzionamento di tutti gli attuatori, per enunciare i concetti e le logiche che stanno alla base di questo tipo di impianto.

4.1 Descrizione del funzionamento

Il concetto che sta alla base del funzionamento di un impianto oleodinamico è molto semplice: prelevare una certa quantità di olio da un certo punto di un sistema con una macchina e trasferirla attraverso un circuito per farle raggiungere dei dispositivi in grado di compiere delle operazioni. La funzione dell'impianto oleodinamico è quindi quella di trasferire energia da un generico punto ad un altro. E' proprio sul concetto di "trasferimento" che ci si vuole focalizzare in questo paragrafo. In pratica il sistema deve essere perfettamente in grado di far fluire olio (in una quantità ben definita in determinate circostanze) verso un punto o un altro dell'impianto i quali possono anche essere posti ad una distanza superiore a 20 metri. Questo è possibile aprendo o chiudendo opportuni passaggi e sfruttando il fatto che il fluido tende sempre a muoversi cercando di raggiungere una condizione di equilibrio. Un aspetto delicato nella progettazione dell'impianto risulta dunque la definizione della successione di operazioni di apertura/chiusura dei passaggi, l'organizzazione di tutte le combinazioni possibili, la definizione delle portate.
Detto questo si può passare ad esaminare come avvengono fisicamente le operazioni, passando dunque ad analizzare il sistema di comando. Esso fa parte dell'impianto elettrico dell'imbarcazione e può essere schematizzato come costituito da

un'interfaccia utente, un sistema di elaborazione dei segnali ed una serie di componenti attuatori.
Ciascuna operazione che l'impianto oleodinamico deve svolgere è gestita da pulsanti. Essi sono disposti in opportuni punti dell'imbarcazione e raggruppati in gruppi di 12 o 14 a formare pannelli preassemblati. Alcuni di essi sono sdoppiati e posizionati in entrambi i lati della barca per potere effettuare le operazioni nelle differenti condizioni di navigazione (barca inclinata sul lato destro o sinistro). Ciascun pulsante è alimentato da una corrente di 24 V e collegato ad un'unità di controllo centrale che rappresenta il "cuore" del sistema di comando. Quando il membro dell'equipaggio incaricato di svolgere una determinata operazione tiene premuto il pulsante di un comando, il circuito relativo viene chiuso ed il sistema di controllo riceve un segnale elettrico. L'unità di controllo è in grado di leggere questi segnali in ingresso ed è programmata in modo da generare, in base alla natura di questi ingressi, opportuni segnali elettrici in uscita, a 24 V in corrente continua. Questi sono diretti alle elettrovalvole presenti nell'impianto. Esse sono di differente tipo e presentano differenti caratteristiche, ma in generale tutte sono costituite da un solenoide che, percorso da corrente, attira un nucleo ferroso all'interno di un canale causando così lo spostamento dell'elemento occludente del dispositivo. In questo modo viene concesso o negato il passaggio dell'olio in precisi punti dell'impianto attivando o disattivando determinate funzioni.

Figura 4.1. Rappresentazione del collegamento fra pulsantiera, plc e valvola a frutto.

Alcune utenze richiedono un incremento o una diminuzione della portata in maniera progressiva, questo per permettere un'attivazione o una disattivazione "dolce" della funzione. Si rende quindi necessario aprire o chiudere i passaggi dell'olio in un certo intervallo di tempo, per questo motivo vengono inserite nell'impianto delle specifiche valvole definite "proporzionali". Esse vengono alimentate con una corrente variabile che causa uno spostamento dell'elemento occludente che risulta appunto proporzionale ai valori assunti dai parametri elettrici. Siccome il sistema di controllo

non è in grado di generare segnali variabili con una certa continuità e con le caratteristiche necessarie, vengono inserite delle schede di amplificazione, in grado di convertire un segnale di ingresso di tensione nella rispettiva corrente di pilotaggio per magneti proporzionali. Tutte le operazioni di regolazione interne vengono eseguite attraverso un microprocessore. Tramite questi dispositivi è così possibile configurare liberamente i tempi di rampa per le operazioni di apertura e di chiusura delle valvole.

4.2 Gestione del sistema

Come si intuisce da quanto descritto nel paragrafo precedente alla già grande complessità del sistema oleodinamico si aggiunge quella del sistema di controllo elettrico. Oltre ai comandi già descritti, l'unità centrale riceve i segnali provenienti da una serie di sensori che le permettono di mantenere sotto controllo l'impianto in ogni istante di funzionamento, ed evitare che possano verificarsi anomalie o danni ai componenti. Concettualmente si può associare un segnale trasmesso da un sensore ad un'informazione, in base alla quale l'unità centrale di controllo agirà di conseguenza. Inoltre potrà rendere disponibili tali informazioni all'utente mediante un videoterminale. La tabella 4.1 riporta l'elenco completo dei sensori.
Il sistema di controllo riceve inoltre in ingresso i segnali provenienti da un potenziometro e da due sensori di posizione collegati alla leva di comando del sistema propulsivo. In totale i segnali in ingresso sono 183.
Per quanto riguarda i segnali in uscita, oltre a quelli già citati relativi alle valvole, il sistema deve essere in grado di: regolare il grado di ammissione dei motori endotermici, fornire il consenso al dispositivo di connessione che permette la ricarica delle batterie quando il numero di giri dell'alternatore si trova all'interno di un campo ben definito, avviare i motori elettrici all'occorrenza e attivare una serie di spie di segnalazione sullo stato del sistema. In totale i segnali in uscita sono 128.
Da questo si capisce come la gestione dell'impianto possa divenire cosa alquanto complessa se non vengono fornite agli utenti tutte le informazioni necessarie al suo corretto utilizzo, al suo controllo e monitoraggio, nonché alla risoluzione dei più comuni inconvenienti che si possono verificare. Queste saranno alcune delle informazioni contenute nel manuale di gestione che risulterà uno strumento indispensabile ai tecnici che si dovranno prendere cura dell'impianto.
La definizione della gestione dell'impianto ha inizio durante le fasi preliminari del progetto, in cui il progettista ed i committenti si riunisco per definire tutte le caratteristiche, le modalità di funzionamento, i gradi di intervento e le logiche di controllo del sistema e dei suoi componenti. Precisati questi aspetti l'impianto può essere definito in maniera sempre più dettagliata fino al raggiungimento di una

configurazione definitiva. Si giunge quindi alla realizzazione ed all'acquisto di tutti i componenti per poter assemblare il tutto e procedere alle fasi di collaudo. Queste rappresentano un aspetto fondamentale nella realizzazione di un impianto e permettono di definire i giusti valori che i parametri dovranno assumere per il suo corretto funzionamento (percentuale di apertura delle valvole, ritardi nel loro intervento, ritardo nell'intervento della leva di comando della propulsione, numero di giri di rotazione del propulsore in determinate condizioni, ritardo nel suo spegnimento, limiti nella corsa di alcuni cilindri).

Rilevamento sensore	Numero sensori
Velocità di rotazione generatore	1
Presenza a bordo motore secondario	1
Motore secondario in funzione	1
Posizione valvole a sfera[(1)]	15
Livello olio nel serbatoio	1
Motore principale in funzione	1
Ventilatore sala macchine in funzione	1
Posizione skeg	1
Pressione olio nella linea	59
Pressione aria nel serbatorio	1
Temperatura olio nel serbatoio	1
Posizione pistoni cilindri	15
Altezza chiglia	1

Tabella 4.1. Tipologie sensori di misura e quantità presenti nell'impianto.

I principali problemi che si incontrano nella gestione di un impianto di questo tipo riguardano principalmente: la staratura a cui potrebbero andare incontro le elettrovalvole ed i sensori, la possibile presenza di frammenti di materiale che potrebbero causare occlusioni delle sezioni di passaggio, l'irregolarità nella

[(1)] Dispositivi di intercettazione di un flusso in condotte idrauliche. Nell'impianto specifico utilizzate per isolare parti del sistema quali il serbatoio e le pompe oleodinamiche connesse al motore secondario.

trasmissione dei segnali fra sistema di controllo ed elementi dell'impianto, l'usura delle guarnizioni dei cilindri con conseguenti trafilamenti di olio e nel caso di cilindri a singolo effetto anche di gas, l'invecchiamento dell'olio.
Da questo si capisce come sia estremamente importante il controllo ed il monitoraggio del sistema specialmente dopo periodi di inattività.

4.3 Importanza del manuale utente

La complessità dell'impianto ed i problemi a cui può essere soggetto fanno capire come sia fondamentale che il progettista fornisca all'utente tutte le informazioni riguardanti le precauzioni necessarie al corretto funzionamento, la schematizzazione del sistema e dei relativi componenti, le indicazioni indispensabili alla risoluzione dei più comuni problemi che si possono presentare.
Da qui l'importanza di redigere un manuale contenente le informazioni sopra elencate. Esso risulterà così indispensabile nella gestione della manutenzione e dell'assistenza da parte dell'azienda.
A differenza di un impianto oleodinamico per uso industriale in cui i sistemi sono installati all'interno di un'azienda e sempre accessibili ai tecnici, un impianto installato a bordo di un'imbarcazione potrebbe richiedere un intervento tecnico in una qualsiasi zona del mondo. In queste condizioni la modalità di intervento più agevole prevede che i tecnici dell'azienda prestino telefonicamente assistenza all'equipaggio della barca. E' dunque necessario che i due interlocutori abbiano a disposizione tutte le informazioni necessarie ad un lavoro congiunto nella risoluzione dei problemi.
La funzione del manuale sarà dunque quella di fornire, a chi si trova ad intervenire sull'impianto, tutte le indicazioni necessarie ad effettuare una serie di operazioni quali: scollegare e successivamente collegare tutti i componenti facenti parte del sistema che richiedono manutenzione, individuare le possibili cause di problemi, sostituire eventuali componenti non funzionanti, impostare i giusti valori dei parametri del sistema di controllo, controllare che i valori dei parametri misurati dai sensori siano compatibili con il giusto funzionamento dell'impianto.
Nello specifico sono i cilindri, il caricabasso del boma e l'avvolgifiocco a richiedere di essere smontati per poter effettuare le operazioni di manutenzione presso l'azienda. Queste sono mirate alla sostituzione dei componenti soggetti ad usura, quali guarnizioni ed anelli raschiaolio. Il progettista dell'impianto dovrà quindi fornire ai tecnici tutte le informazioni necessarie a collegare nella maniera corretta tutti i tubi ed i cablaggi dell'impianto.
Utilizzando il manuale i tecnici possono avere un chiaro quadro d'assieme dell'intero sistema i cui componenti sono disposti in punti dell'imbarcazione che possono essere

distanti e di difficile accesso. In questo modo risulterà più semplice individuare le possibili cause di malfunzionamenti e pianificare le procedure di intervento.
Nel manuale dovrà essere riportato l'elenco completo dei componenti e degli elementi che li compongono con le relative schede tecniche. Questo è essenziale nel caso siano richiesti interventi per malfunzionamento o la sostituzione delle parti. In quest'ultimo caso si rende necessaria una conoscenza agevole di tutte le caratteristiche del componente in oggetto in modo da procedere alla sostituzione, la quale potrebbe richiedere tempi relativamente lunghi se si dovrà procedere all'acquisto o alla fabbricazione.
Il manuale dovrà inoltre fornire tutte le spiegazioni relative all'unità centrale di controllo quali: segnali in ingresso ed uscita e relativa corrispondenza ai componenti, elenco attuatori in funzione durante lo svolgimento di una determinata operazione ed in una determinata condizione di utilizzo dell'impianto, gestione dell'interfaccia tramite videoterminale.
Tutte queste considerazioni fanno capire come sia importante la stesura di un elaborato che esponga nella maniera più chiara e completa possibile tutte le informazioni relative all'impianto.

4.4 Modalità di funzionamento

L'intero impianto è concepito per poter operare in cinque differenti modalità in base alla condizione di utilizzo dell'imbarcazione. In particolare si distinguono:

- modalità propulsiva,
- modalità regata,
- modalità intermedia regata-crociera,
- modalità elettrica,
- modalità emergenza.

La possibilità di cambiare la modalità di funzionamento rappresenta la peculiarità dell'impianto in questione che non presenta pari in ambito nautico.
Questa caratteristica impone la necessità di un sistema di controllo alquanto flessibile, da qui l'esigenza di dotare l'impianto di un controllore a logica programmabile (plc), come verrà esposto nel paragrafo 4.5.
L'oleodinamica si presta bene alla realizzazione di un impianto di questo tipo. Infatti permette di realizzare un sistema ramificato le cui parti possono essere mantenute in comunicazione oppure escluse mediante l'utilizzo di semplici dispositivi e mediante un'opportuna logica. E' possibile dunque fare assumere al sistema una natura

differente. In sostanza è come se si avessero a disposizione impianti diversi, ciascuno con una determinata funzionalità.
Se si assumono questi concetti e li si trasferiscono nella progettazione di un'imbarcazione a vela si ottiene ciò di cui la barca in questione è l'espressione: uno "strumento" capace di coniugare differenti filosofie e di rispondere alle differenti esigenze che l'armatore di un'imbarcazione di questo livello richiede.
La barca può assumere così una doppia natura: efficace in regata, utilizzabile in crociera da un equipaggio ristretto a pochi membri. Proprio quest'ultimo aspetto rappresenta un limite per barche a vela di ingenti dimensioni in quanto richiedono un equipaggio relativamente numeroso non compatibile con la disponibilità di alloggi presenti a bordo.
Inoltre la possibilità di avere un sistema propulsivo con una doppia alimentazione garantisce una maggiore sicurezza e riduce al minimo le probabilità che la barca rimanga bloccata in mare aperto.
Di seguito vengono descritte nello specifico le differenti modalità di funzionamento del sistema.

4.4.1 Modalità propulsiva

La prima operazione che l'equipaggio deve effettuare quando decide di utilizzare l'impianto oleodinamico, a prescindere dalla modalità di funzionamento scelta, prevede l'attivazione delle pulsantiere tramite un apposito tasto. L'unità di controllo centrale effettua una verifica sullo stato dei pulsanti e se trova una qualche anomalia disattiva i tasti relativi. Questo per evitare che, nel caso un qualsiasi pulsante rimanga bloccato in modalità attiva, si verifichi un funzionamento involontario dell'utenza relativa quando uno dei motori primi viene attivato.
Una volta effettuata questa operazione è possibile decidere quale fonte di potenza utilizzare. Se si decide di avviare il motore endotermico principale un sensore installato su di esso provvede ad inviare un segnale al sistema di controllo informandolo sullo stato del sistema. La modalità di funzionamento risulta così definita.
L'unità di controllo provvede alla verifica della disponibilità delle tre differenti unità che costituiscono il serbatoio mediante la "lettura" dai segnali provenienti dai sensori di posizione posti presso le leve di comando delle valvole a sfera. Se la disponibilità è confermata il sistema può procedere al funzionamento in condizioni normali. Nel caso contrario comparirà un segnale dall'allarme sullo schermo di comando dell'unità plc. Se la disponibilità dei serbatoi è limitata ad una unità il sistema può essere comunque

avviato, ma va prestata la massima attenzione alla temperatura dell'olio in quanto potrebbe crescere oltre misura.
L'equipaggio può procedere, tramite un apposito pulsante, ad abbassare lo skeg supportante il sistema propulsivo. A questo punto è possibile agire sulla leva di comando della propulsione. Essa è collegata ad un potenziometro lineare e a due interruttori. Il funzionamento può essere riassunto come segue: durante la prima fase di intervento si determina il verso di marcia della barca, successivamente il propulsore viene portato alla velocità di rotazione prestabilita per il suo funzionamento, infine viene modificata la cilindrata della pompa. Durante la prima fase in cui la leva di comando del sistema propulsivo viene spostata dalla posizione centrale l'unità centrale di controllo riceverà il segnale da uno dei due interruttori e provvederà al controllo del gruppo di elettrovalvole necessarie ad indirizzare il flusso nella direzione corretta. Muovendo ulteriormente la leva il sistema di controllo riceverà un segnale dal potenziometro lineare determinando dapprima un incremento della velocità di rotazione del motore endotermico, dal valore di minimo fino ad un valore prestabilito, successivamente l'aumento della cilindrata della pompa. Tramite il controllo di due elettrovalvole posizionate sulla pompa è infatti possibile muovere un piattello interno alla macchina decretandone una variazione di cilindrata da un valore nullo fino ad un valore massimo. A ciò corrisponde un aumento della portata erogata e conseguentemente un aumento del numero di giri dell'elica cui corrisponde un aumento della velocità dell'imbarcazione. Programmando opportunamente l'unità di controllo in modo che elabori il segnale in ingresso proveniente dal suddetto potenziometro ed invii un segnale in uscita alla suddetta pompa è possibile ottenere una risposta lineare fra lo spostamento della leva dell'acceleratore e l'aumento di cilindrata della macchina idraulica.
Durante questa condizione il sistema permette l'utilizzo contemporaneo di altre tre funzioni idrauliche.

4.4.2 Modalità regata

Durante le fasi di regata l'impianto oleodinamico viene utilizzato per apportare modifiche e regolazioni al piano velico. In particolare vengono azionati i cilindri e i verricelli oleodinamici, i cilindri denominati MagicDouble e l'avvolgifiocco. La fonte della potenza idraulica è la medesima descritta per la modalità precedente. Mantenendo la leva dell'acceleratore in posizione centrale il sistema di controllo concede il funzionamento contemporaneo di quattro utenze in "bassa pressione" e di tre utenze in "alta pressione". Parallelamente le funzioni non indispensabili alla navigazione come il generatore di energia elettrica ed il dissalatore vengono negate.

4.4.3 Modalità intermedia regata-crociera

Avviando entrambi i motori endotermici l'unità centrale di controllo riceve in ingresso i segnali provenienti dai sensori posizionati sulle due macchine termiche e determina così la modalità di funzionamento. In questa condizione almeno due delle tre unità che costituiscono il serbatoio devono essere disponibili, ma nel caso di incremento della temperatura dell'olio è raccomandato l'utilizzo di tutte e tre le unità. Il motore principale alimenta il sistema propulsivo e contemporaneamente tre utenze idrauliche. Il motore secondario, invece, si occupa dell'alimentazione dell'alternatore e del ventilatore della sala macchine. Questa condizione garantisce dunque le funzionalità offerte dalle modalità precedenti ma con l'aggiunta della massima disponibilità di energia elettrica. Essa si rende necessaria nel caso di utilizzo del sistema di condizionamento degli ambienti interni della barca necessario a garantire il massimo livello di comfort agli occupanti.

4.4.4 Modalità elettrica

Avviando il sistema con la stessa modalità descritta nel paragrafo 4.4.1 ma non azionando alcun motore endotermico, il sistema di controllo apprende automaticamente di trovarsi in modalità elettrica. Esso provvederà dunque ad avviare i motori elettrici nel caso un membro dell'equipaggio imponga il funzionamento di una qualche utenza.
I due motori elettrici alimentati in corrente continua sono direttamente collegati ad altrettanti pompe e possono funzionare singolarmente oppure congiuntamente. Ciascuna motopompa può mettere in funzione una sola utenza a causa della disponibilità di potenza limitata. Una delle due (identificata come numero uno) fornisce potenza oleodinamica alla linea di "bassa pressione", mentre l'altra (identificato come numero due) fornisce potenza oleodinamica alla linea di "alta pressione". Nel caso la potenza richiesta da una delle due linee risulti superiore a quella fornibile da un unico motore, il sistema di controllo provvederà ad azionare entrambe le motopompe collegandole alla stessa linea di pressione. Nella situazione opposta, in cui entrambe le motopompe stanno alimentano la stessa linea di pressione ed un membro dell'equipaggio aziona un'utenza collegata alla linea opposta, il sistema provvederà ad indirizzare il flusso erogato da una delle due macchine verso quest'ultima linea. Bisogna inoltre sottolineare che le due pompe presentano una doppia serie di pistoni le quali alimentano due distinte linee di uscita dalla macchina. Questo permette di implementare un sistema di controllo che rimandi al serbatoio uno dei due flussi quando la pressione nel circuito supera un predeterminato valore. In

questo modo la pompa erogherà una portata inferiore ma il motore elettrico non verrà messo in crisi.
Questo tipo di gestione è possibile solamente grazie ad un'appropriata logica implementata nel sistema di controllo che interviene su una serie di valvole posizionate sopra un apposito distributore, ciò garantisce una grande flessibilità nel convogliare i flussi.
Naturalmente l'utilizzo dei motori elettrici deve essere limitato nel tempo, pena un rapido esaurimento della carica delle batterie ed un surriscaldamento dei motori stessi.

4.4.5 Modalità emergenza

In caso di mancato funzionamento del motore endotermico principale l'equipaggio della barca può contare sul funzionamento del secondo motore. In questa modalità la potenza a disposizione è ridotta e le prestazioni del sistema risultano di conseguenza limitate.
Questo garantisce però un servizio minimo corrispondente al funzionamento contemporaneo di tre funzioni della linea di "bassa pressione" oppure di una sola funzione della linea di "alta pressione" e del sistema propulsivo con prestazioni ridotte (velocità dell'imbarcazione inferiore a 2,5 m/s).

4.5 Il controllore a logica programmabile

La possibilità di far eseguire in maniera automatica i processi di lavorazione o loro parti è sempre stato uno degli obiettivi della tecnica, fin dalla sua nascita. Con il diffondersi dell'utilizzo di dispositivi elettromeccanici cominciarono a fare la loro comparsa nei processi di lavorazione, dispositivi a relè e temporizzatori per le prime applicazioni di automazione.
I relè sono dispositivi elettromeccanici dotati di uno o più contatti elettrici che passano da una configurazione a riposo (solitamente i contatti si trovano o in configurazione di contatto normalmente aperto oppure normalmente chiuso) ad una diversa configurazione quando il relè viene alimentato ("eccitato").
Tali dispositivi permettono di realizzare con relativa facilità dei sistemi di controllo, i quali presentano però alcune limitazioni, in particolare bassa velocità di elaborazione dei segnali, costo elevato, difficoltà di riconfigurazione, lunghezza e complessità di progettazione e manutenzione.
Applicazioni di questo tipo (spesso definite come "logica cablata") trovano utilizzo soprattutto per applicazioni in cui è richiesto un basso livello di automazione.

In tutti i sistemi in cui è richiesta una maggiore flessibilità e complessità di interveto (è il caso dell'impianto in questione) tali sistemi vengono soppiantati da sistemi a logica programmata o plc (dall'inglese *programmable logic controller*).
Le principali caratteristiche che tali sistemi possiedono sono: la facilità di programmazione e riprogrammazione (eventualmente anche sul luogo di utilizzo), la facilità di manutenzione e quindi l'elevata modularità, la robustezza ad ambienti severi (insensibilità ai disturbi elettromagnetici, alla polvere ed alle vibrazioni), la grande affidabilità, la facilità nell'apportare modifiche ed estensioni, la possibilità di recupero dell'apparecchiatura, la facilità dell'autodiagnosi dei guasti, la possibilità di controllo remoto dell'impianto per mezzo di una LAN (local area network), la compattezza ed infine il costo relativamente basso.
La definizione di cosa sia un controllore a logica programmabile si può trovare nella norma internazionale di riferimento IEC 61131 che lo indica come "un sistema elettronico a funzionamento digitale, destinato all'uso in ambito industriale, che utilizza una memoria programmabile per l'archiviazione interna di istruzioni orientate all'utilizzatore per l'implementazione di funzioni specifiche, come quelle logiche, di sequenziamento, di temporizzazione, di conteggio e di calcolo aritmetico, e per controllare, mediante entrate ed uscite sia digitali sia analogiche, vari tipi di macchine e processi".
Nel complesso un plc è composto tipicamente da quattro elementi: un modulo processore, una serie di moduli di ingresso/uscita, un modulo alimentatore e un terminale di programmazione.
Il modulo processore rappresenta il vero e proprio plc, è costituito essenzialmente da una scheda a microprocessore con architettura simile a quella dei calcolatori convenzionali. Controlla e supervisiona tutte le operazioni all'interno del sistema attraverso l'esecuzione delle istruzioni eseguite nella memoria.
Alcuni moduli di ingresso/uscita consentono l'interfacciamento tra il plc e il mondo esterno. Tali moduli consentono solitamente l'interfacciamento con segnali di tipo analogico e digitale. Tipici valori dei segnali trattati sono 0-24 V per i segnali digitali, ±5 V, ±10 V, 0-5 V, 4-20 mA in corrente continua per i segnali analogici.
Il modulo alimentatore (più di uno se necessario) garantisce l'alimentazione elettrica a tutti i moduli presenti.
Infine è presente un terminale di programmazione che può consistere in un dispositivo dedicato o in un semplice pc accoppiato al plc mediante un collegamento dati opportuno.
Per poter controllare una macchina o un processo (a volte identificato col termine di campo), il plc deve acquisirne lo stato istante per istante ed in base alle istruzioni scritte nella propria memoria, determinare se devono o meno essere apportate delle

modifiche allo stato attuale delle uscite. Per acquisire lo stato attuale del processo vengono collegati agli ingressi del plc tutte quelle apparecchiature che fungono da sensori del sistema, in particolare: pulsanti, finecorsa, interruttori, relè termici.
Per attuare quanto è stato determinato dall'elaborazione del programma, alle uscite del plc sono collegate tutte quelle apparecchiature atte a realizzare quanto necessario per l'esecuzione del processo. Questi attuatori possono essere, a seconda di come viene realizzato l'automatismo, di tipo oleodinamico, pneumatico, elettromeccanico o anche misto. Tra essi si distinguono: relè, elettrovalvole, cilindri pneumatici o oleodinamici, valvole elettropneumatiche.
La scelta ed il dimensionamento del controllore programmabile tra la grande disponibilità di apparecchiature presenti in commercio deve tenere conto di una serie di aspetti quali: numero e tipo di segnali che si devono elaborare (cioè numero di ingressi/uscite), tipo e volume dell'elaborazione che il plc deve svolgere (che determina la capacità della memoria), tempo di ciclo, tipo di sensori ed attuatori, tipo di morsettiere e cablaggi, tipi di memorie installabili, caratteristiche ambientali, possibilità di dialogo con pc, linguaggi di programmazione, costo delle apparecchiature.
Vi sono alcuni criteri di massima che è possibile seguire per individuare il prodotto che meglio si adatta ad un dato impianto, tra questi si possono distinguere criteri funzionali, tecnologici, operativi ed economici.
Bisogna innanzi tutto valutare la qualità e la quantità delle funzioni che l'apparecchiatura può svolgere. Un aspetto prioritario è sicuramente quello del numero e del tipo di ingressi e di uscite necessari, i quali potranno essere di tipo analogico o digitale a seconda ovviamente del tipo di segnali presenti nell'impianto. La scelta del plc dovrà tenere conto degli eventuali ampliamenti futuri a cui l'impianto potrà essere soggetto. Successivamente si potrà valutare la quantità di memoria necessaria e si potranno definire le funzioni. Se dovessero servire delle elaborazioni di tipo matematico si dovrà prestare attenzione alle capacità di calcolo del linguaggio di programmazione di cui il sistema è dotato (comparazioni, operazioni aritmetiche). E' importante inoltre valutare, per il processo da gestire, l'importanza della velocità del tempo di ciclo, del tipo di ciclo, della velocità dell'acquisizione dello stato degli ingressi e della generazione dei segnali di uscita.
Ci sono poi criteri tecnologici da tenere presente per la scelta del plc più adatto ad un determinato ambiente di lavoro, ambiente inteso sia in senso fisico sia in senso di apparecchiature ad esso collegate.
Innanzi tutto è necessario considerare le caratteristiche dei sensori presenti nell'impianto, i quali possono essere elettronici o elettromeccanici. Nel caso di sensori

di tipo elettromeccanico bisogna valutare il tipo di alimentazione, da fonte esterna oppure dal plc stesso.
Un aspetto da non trascurare riguarda il cablaggio. E' buona norma utilizzare cavi schermati per i collegamenti dei sensori ed è inoltre preferibile utilizzare delle morsettiere removibili, che in caso di guasto delle apparecchiature consentano una sostituzione rapida ed agevole.
Infine è opportuno considerare i fattori esterni che potrebbero incidere negativamente sui dispositivi. In particolare bisogna prestare attenzione alla temperatura dell'ambiente in cui l'apparecchiatura si troverà ad operare.
L'operatività di un plc inizia dalla fase di programmazione dello stesso per continuare con il collaudo e la messa in funzione, la normale conduzione, ed infine l'eventuale modifica ed ampliamento. Perché il plc abbia una buona operatività è necessario che tutte queste fasi siano condotte nella maniera migliore.
Il V570-57-T20B è il controllore logico programmabile di cui è dotato l'impianto in questione. Tra le sue caratteristiche principali: alimentazione in corrente continua a 24 V, schermo a colori da 5,7" sensibile al tocco, gestione di più di mille segnali i ingresso ed uscita, possibilità di espansione tramite moduli addizionali, scheda di memoria di tipo SD, registratore dei dati, comunicazione cellulare SMS e GPRS, web server per gestione posta elettronica, memoria interna 2 MB per applicazioni logiche e 12 MB per immagini.
L'unità riceve in ingresso 17 segnali digitali provenienti da una serie di sensori e pulsanti presenti nel sistema e un segnale analogico proveniente dal potenziometro collegato alla leva di comando del sistema propulsivo, mentre in uscita trasmette tre segnali digitali (due di comando del motore secondario e uno per il consenso alla ricarica delle batterie) e uno analogico (controllo della velocità di rotazione del motore principale). Gli altri ingressi e le altre uscite sono invece gestiti da moduli di espansione remoti. Essi sono collegati in serie e, tramite un apposito adattatore, al plc. A tutti gli ingressi e alle uscite allocate nei moduli di espansione viene assegnato un indirizzo che comprende una lettera ed un numero. La lettera distingue i segnali di ingresso da quelli di uscita, mentre il numero indica il posizionamento nel sistema.

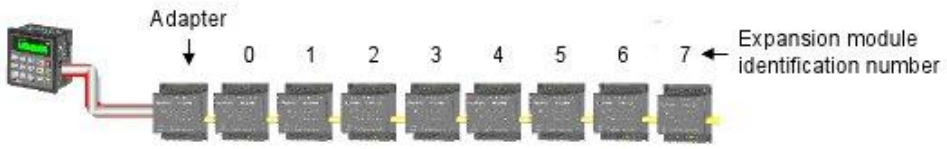


Figura 4.2. Rappresentazione del collegamento fra il controllore a logica programmabile, adattatore e moduli delle espansioni.

L'adattatore può gestire una serie di massimo otto moduli contraddistinti da numeri compresi tra 0 e 7.
A ciascun segnale è associato un indicatore luminoso che consente un rapido monitoraggio sul funzionamento del sistema.
Tutti i dispositivi sono montanti all'interno di cassette (tre in totale) assemblate al di fuori dell'imbarcazione e costituenti un'unità chiusa. Esse contengono delle morsettiere a cui vengono collegati tutti i cablaggi durante l'installazione a bordo del sistema. Questo facilita il lavoro dei tecnici e permette di preservare i componenti più delicati.
Siccome a ciascun segnale corrisponde un filo che collega l'unità di controllo al generico componente posizionato in un qualsiasi punto dell'imbarcazione, è buona norma raggruppare i segnali relativi a componenti che si trovano in punti adiacenti della barca. Questo per semplificare il lavoro di cablaggio compiuto dai tecnici elettricisti. Per questo motivo il sistema è stato scisso in tre parti: due installate nella zona poppiera dell'imbarcazione vicino alla sala macchine ed una installata nella zona centrale presso la base dell'albero.
Il sistema prevede una serie di schede di amplificazione per il comando di valvole idrauliche con magnete proporzionale. Esse convertono un segnale di tensione in ingresso (0-5 V oppure 0-10 V) nella rispettiva corrente di pilotaggio per magneti proporzionali. Ciascuna scheda presenta dei pulsanti che permettono di modificarne i parametri interni, in particolare: corrente minima, corrente massima, tempo di rampa di salita e tempo di rampa di discesa. Mediante il collegamento ad un relè comandato dal sistema di controllo è possibile la gestione alterna di due valvole proporzionali mediante una sola scheda. Questa tecnica viene utilizzata nel controllo delle valvole di alimentazione relative ai motori oleodinamici (connessi ai verricelli, al salpa ancora e all'avvolgifiocco) e dei cilindri a doppio effetto, in quanto queste funzioni presentano due linee di flusso alimentate alternativamente per consentire l'inversione del moto dell'utenza.
Per salvaguardare i componenti del sistema da possibili sovracorrenti, ai capi delle morsettiere vengono inseriti fusibili di protezione.

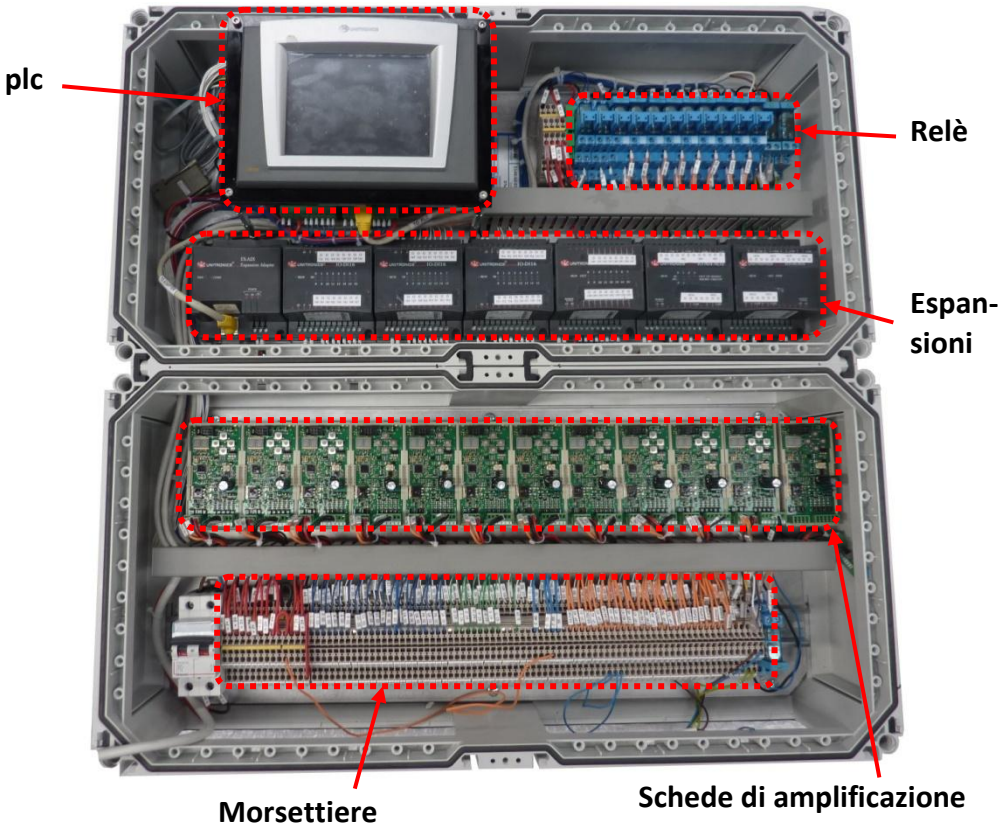


Figura 4.3. Esempio di cassetta con indicazione dei componenti presenti.

Nel seguito è riportata la lista dei segnali in ingresso ed uscita all'unità di controllo con la fedele suddivisione in espansioni e canali di comunicazione (bus) presenti nel sistema.

Nelle tabelle vengono riportate le informazioni relative a ciascun segnale, in particolare: gli indirizzi di destinazione all'interno del plc, la posizione all'interno della morsettiera, la descrizione della funzione relativa e l'elenco dei componenti connessi (elettrovalvole o sensori).

PLC BASE	Digital Input	Mors	Descrizione	Digital Output		Mors	Descrizione
V 570	*Indirizzo*			*Indirizzo*			
	0	**DI 0**	*Velocità rotazione alternatore*	*2000*	*0*	**DO 0**	
	1	**DI 1**		*2001*	*1*	**DO 1**	
	2	**DI 2**	*Pulsante tensionamento rapido sartia destra*	*2002*	*2*	**DO 2**	*Controllo velocità secondo motore*
	3	**DI 3**	*Pulsante rilascio rapido sartia destra*	*2003*	*3*	**DO 3**	
	4	**DI 4**	*Pulsante tensionamento strallo di prua*	*2004*	*4*	**DO 4**	
	5	**DI 5**	*Pulsante rilascio strallo di prua*	*2005*	*5*	**DO 5**	
	6	**DI 6**	*Pulsante tensionamento deflettore*	*2006*	*6*	**DO 6**	
	7	**DI 7**	*Pulsante rilascio deflettore*	*2007*	*7*	**DO 7**	
	8	**DI 8**		*2008*	*8*	**DO 8**	
	9	**DI 9**	*Pulsante boa*	*2009*	*9*	**DO 9**	
	10	**DI 10**	*Pulsante virata automatica[1]*	*2010*	*10*	**DO 10**	*Consenso alla ricarica delle batterie*
	11	**DI 11**	*Pulsante virata di poppa automatica[2]*	*2011*	*11*	**DO 11**	
	12	**DI 12**	*Pulsante tensionamento tesabase*	*2012*	*12*	**DO 12**	
	13	**DI 13**	*Pulsante rilascio tesabase*	*2013*	*13*	**DO 13**	
	14	**DI 14**	*Pulsante tensionamento cunningham sulla randa*	*2014*	*14*	**DO 14**	
	15	**DI 15**	*Pulsante rilascio cunningham sulla randa*	*2015*	*15*	**DO 15**	
	16	**DI 16**	*Pulsante tensionamento caricabasso*	*2016*	*16*	**DO 16**	
	17	**DI 17**	*Pulsante rilascio caricabasso*				

	Analogic Input	Mors	Descrizione	Analog Output	Mors	Descrizione
	Indirizzo			*Indirizzo*		
	1846	**AI 0**	*Comando propulsione*	*997*	**AO 0**	*Comando velocità rotazione motore principale*
		AI 1		*998*	**AO 1**	
		AI 2			**AO 2**	
		AI 3			**AO 3**	

ADATTATORE LOCALE
EX-A2X

ESPANSIONE 1 PLC IO-DI16	Digital Input	Mors	Descrizione	Annotazioni
	Indirizzo			
	32	**DI 18**	*Pulsante rilascio lento sartia sinistra*	
	33	**DI 19**	*Pulsante tensionamento lento sartia sinistra*	
	34	**DI 20**	*Pulsante rilascio lento sartia destra*	
	35	**DI 21**	*Pulsante tensionamento lento sartia destra*	
	36	**DI 22**	*Pulsante rilascio rapido scotta della randa*	
	37	**DI 23**	*Pulsante tensionamento rapido scotta della randa*	
	38	**DI 24**		
	39	**DI 25**	*Pulsante rilascio rapido in emergenza*	
	40	**DI 26**	*Pulsante tensionamento gennaker*	
	41	**DI 27**	*Pulsante rilascio gennaker*	
	42	**DI 28**	*Pulsante avvilgifiocco*	
	43	**DI 29**	*Pulsante rilascio avvolgifiocco*	
	44	**DI 30**	*Pulsante tensionamento secondo strallo*	
	45	**DI 31**	*Pulsante rilascio secondo strallo*	
	46	**DI 32**	*Pulsante tensionamento cunningham sul fiocco*	
	47	**DI 33**	*Pulsante rilascio cunningham sul fiocco*	

ESPANSIONE 2 PLC IO-DI16	Digital Input	Mors	Descrizione	Annotazioni
	Indirizzo			
	48	**DI 34**	*Pulsante tensionamento trasversale vela di prua*	
	49	**DI 35**	*Pulsante rilascio trasversale vela di prua*	
	50	**DI 36**	*Pulsante rilascio verticale vela di prua*	
	51	**DI 37**	*Pulsante tensionamento verticale vela di prua*	
	52	**DI 38**	*Pulsante carrello del trasto a sinistra*	
	53	**DI 39**	*Pulsante carrello del trasto a destra*	
	54	**DI 40**	*Pulsante attivazione sistema*	
	55	**DI 41**	*Pulsante spegnimento sistema*	
	56	**DI 42**	*Pulsante innesto timoni*	
	57	**DI 43**	*Pulsante disinnesto timoni*	
	58	**DI 44**	*Pulsante rilascio lento scotta della randa*	
	59	**DI 45**	*Plsante tensionamento lento scotta della randa*	
	60	**DI 46**		
	61	**DI 47**	*Pulsante virata automatica[1]*	
	62	**DI 48**	*Pulsante tensionamento rapido sartia sinistra*	
	63	**DI 49**	*Pulsante rilascio rapido sartia sinistra*	

ESPANSIONE 3 PLC IO-DI16	Digital Input	Mors	Descrizione	Annotazioni
	Indirizzo			
	64	**DI 50**	*Presenza a bordo secondo motore*	
	65	**DI 51**	*Secondo motore in moto*	
	66	**DI 52**	*Sensori di prossimità valvole a sfera unità 1 serbatoio*	*SF-11, SF-12, SF-13*
	67	**DI 53**	*Sensori di prossimità valvole a sfera unità 2 serbatoio*	*SF-21, SF-22, SF-23*
	68	**DI 54**	*Sensori di prossimità valvole a sfera unità 3 serbatoio*	*SF-31, SF-32, SF-33*
	69	**DI 55**	*Sensore occlusione filtro olio*	*S-701*
	70	**DI 56**	*Sensore livello olio*	*S-709*
	71	**DI 57**		
	72	**DI 58**	*Motore principale in moto*	
	73	**DI 59**		
	74	**DI 60**	*Pulsante tensionamento caricabasso*	*uguale a DI 16*
	75	**DI 61**	*Pulsante rilascio caricabasso*	*uguale a DI 17*
	76	**DI 62**	*Sensore di prossimità valvola a sfera linea di ritorno olio*	*SF-702*
	77	**DI 63**	*Sensore di prossimità linea di aspirazione pompe su motore secondario*	*SF-610*
	78	**DI 64**		
	79	**DI 65**	*Ventilatore sala macchine in funzione*	

ESPANSIONE 4 PLC IO-DI16	Digital Input	Mors	Descrizione	Annotazioni
	Indirizzo			
	80	**DI 66**	*Sensore di posizione su comando propulsione (marcia avanti)*	
	81	**DI 67**	*Sensore di posizione su comando propulsione (marcia indietro)*	
	82	**DI 68**	*Protezione termica motore elettrico 1*	
	83	**DI 69**	*Protezione termica motore elettrico 2*	
	84	**DI 70**	*Pulsante tensionamento trasversale vela di prua*	*uguale a DI 34*
	85	**DI 71**	*Pulsante rilascio trasversale vela di prua*	*uguale a DI 35*
	86	**DI 72**		
	87	**DI 73**		
	88	**DI 74**		
	89	**DI 75**	*Dissalatore in funzione*	
	90	**DI 76**	*Sensori di prossimità valvole a sfera linee collegamento motore secondario*	*SF-609, SF-610, SF-611, SF-703, SF-704*
	91	**DI 77**	*Richiesta di ricarica delle batterie*	
	92	**DI 78**		
	93	**DI 79**		
	94	**DI 80**		
	95	**DI 81**		

ESPANSIONE 5 PLC IO-AI8	Analogic Input	Mors	Descrizione	Annotazioni
	Indirizzo			
	Mi 1850	**AI 4**	*Sensore pressione su linea discesa skeg*	*P-200 (0÷10 V)*
	Mi 1851	**AI 5**	*Sensore pressione su linea sollevamento skeg*	*P-202 (0÷10 V)*
	Mi 1852	**AI 6**	*Sensore pressione su linea innesto timoni*	*P-204 (0÷10 V)*
	Mi 1853	**AI 7**	*Sensore pressione su linea disinnesto timoni*	*P-206 (0÷10 V)*
	Mi 1854	**AI 8**	*Sensore pressione su linea sollevamento portellone di poppa*	*P-208 (0÷10 V)*
	Mi 1855	**AI 9**	*Sensore pressione su linea discesa portellone di poppa*	*P-210 (0÷10 V)*
	Mi 1856	**AI 10**	*Sensore di pressione su linea controllo verticale vela di prua*	*P-150 (0÷10 V)*
	Mi 1857	**AI 11**	*Sensore di pressione su linea controllo posizione orizzontale*	*P-152 (0÷10 V)*

ESPANSIONE 6 PLC IO-AI8	Analogic Input	Mors	Descrizione	Annotazioni
	Indirizzo			
	Mi 1858	**AI 12**	*Sensore di pressione su linea alterantore*	*P-716 (0÷10 V)*
	Mi 1859	**AI 13**		
	Mi 1860	**AI 14**	*Sensore di pressione aria serbatoio*	*P-700 (0÷10 V)*
	Mi 1861	**AI 15**	*Sensore di pressione su linea dissalatore*	*P-059 (0÷10 V)*
	Mi 1862	**AI 16**	*Sensore di pressione su linea poma dell'acqua*	*P-061 (0÷10 V)*
	Mi 1863	**AI 17**	*Sensore di pressione ingresso olio scambiatore*	*P-063 (0÷10 V)*
	Mi 1864	**AI 18**	*Sensore di pressione uscita olio scambiatore*	*P-064 (0÷10 V)*
	Mi 1865	**AI 19**	*Sensore di pressione su linea "alta pressione"*	*P-500 (0÷10 V)*

ESPANSIONE 7 PLC IO-AI8	Analogic Input	Mors	Descrizione	Annotazioni
	Indirizzo			
	Mi 1866	**AI 20**	*Sensore di pressione su linea propulsione (marcia avanti)*	*P-304 (0÷10 V)*
	Mi 1867	**AI 21**	*Sensore di pressione su linea propulsione (marcia indietro)*	*P-305 (0÷10 V)*
	Mi 1868	**AI 22**	*Sensore potenziometrico posizione skeg*	*S-200 (0÷10 V)*
	Mi 1869	**AI 23**		
	Mi 1870	**AI 24**		
	Mi 1871	**AI 25**	*Sensore temperatura olio (campo di funzionamento 0÷100 °C)*	*S-061 (4÷20 mA)*
	Mi 1872	**AI 26**	*Sensore di pressione su linea "alta pressione"*	*P-601 (0÷10 V)*
	Mi 1873	**AI 27**	*Sensore di pressione su linea "bassa pressione"*	*P-602 (0÷10 V)*

ESPANSIONE 8 PLC IO-AI8	Analogic Input	Mors	Descrizione	Annotazioni
	Indirizzo			
	Mi 1874	**AI 28**	*Sensore di pressione cilindro sartia lato sinistro (lato 2:1)*	*P-054 (0÷10 V)*
	Mi 1875	**AI 29**	*Sensore di pressione cilindro sartia lato sinistro (lato 4:1)*	*P-055 (0÷10 V)*
	Mi 1876	**AI 30**	*Sensore di posizione stelo cilindro sartia lato sinistro (lato 2:1)*	*S-054 (4÷20 mA)*
	Mi 1877	**AI 31**	*Sensore di posizione stelo cilindro sartia lato sinistro (lato 4:1)*	*S-055 (4÷20 mA)*
	Mi 1878	**AI 32**	*Sensore di pressione su linea carrello trasto (lato sinistro)*	*P-056 (0÷10 V)*
	Mi 1879	**AI 33**	*Sensore di pressione su linea carrello trasto (lato destro)*	*P-057 (0÷10 V)*
	Mi 1880	**AI 34**	*Sensore di posizione carrello trasto*	*S-056 (4÷20 mA)*
	Mi 1881	**AI 35**		

ADATTATORE REMOTO Can-bus 2
EX-RC1

ESPANSIONE 1 Can-bus 2

IO-RO16	Digital Output		Mors	Descrizione	Annotazioni
	Indirizzo				
	2017	160	DO 17		
	2018	161	DO 18	Controllo flusso olio culatta cilindro sartia destra (lato 4:1)	EV-080
	2019	162	DO 19	Controllo flusso olio culatta cilindro sartia destra (lato 2:1)	EV-081
	2020	163	DO 20	Rilascio rapido cilindro sartia destra (lato 4:1)	EV-082
	2021	164	DO 21	Controllo flusso olio testata cilindro sartia destra (lato 2:1)	EV-083
	2022	165	DO 22	Controllo flusso olio testata cilindro sartia destra (lato 4:1)	EV-084
	2023	166	DO 23		
	2024	167	DO 24	Controllo flusso olio culatta cilindro sartia sinistra (lato 4:1)	EV-086
	2025	168	DO 25	Controllo flusso olio culatta cilindro sartia sinistra (lato 2:1)	EV-087
	2026	169	DO 26	Rilascio rapido cilindro sartia sinistra (lato 4:1)	EV-088
	2027	170	DO 27	Controllo flusso olio testata cilindro sartia sinistra (lato 2:1)	EV-089
	2028	171	DO 28	Controllo flusso olio testata cilindro sartia sinistra (lato 4:1)	EV-090
	2029	172	DO 29		
	2030	173	DO 30	Svincolamento carrello trasto	EV-092
	2031	174	DO 31	Controllo flusso olio carrello trasto lato destro	EV-065
	2032	175	DO 32	Controllo flusso olio carrello trasto lato sinistro	EV-066

ESPANSIONE 2 Can-bus 2

IO-RO16	Digital Output		Mors	Descrizione	Annotazioni
	Indirizzo				
	2033	176	DO 33	Discesa skeg	EV-200
	2034	177	DO 34	Sollevamento skeg	EV-201
	2035	178	DO 35	Sollevamento skeg	EV-202
	2036	179	DO 36	Discesa skeg	EV-203
	2037	180	DO 37	Innesto timoni	EV-204
	2038	181	DO 38	Disinnesto timoni	EV-205
	2039	182	DO 39	Disinnesto timoni	EV-206
	2040	183	DO 40	Innesto timoni	EV-207
	2041	184	DO 41	Sollevamento portellone di poppa	EV-208
	2042	185	DO 42	Discesa portellone di poppa	EV-209
	2043	186	DO 43	Discesa portellone di poppa	EV-210
	2044	187	DO 44	Sollevamento portellone di poppa	EV-211
	2045	188	DO 45	Controllo posizione verticale vela di prua	EV-150
	2046	189	DO 46	Controllo posizione verticale vela di prua	EV-151
	2047	190	DO 47	Controllo posizione orizzontale vela di prua	EV-152
	2048	191	DO 48	Controllo posizione orizzontale vela di prua	EV-153

ESPANSIONE 3 Can-bus 2

IO-RO16	Digital Output		Mors	Descrizione	Annotazioni
	Indirizzo				
	2049	192	DO 49	Limite potenza elettrica assorbita	
	2050	193	DO 50	Indicatore luminoso temperatua olio	
	2051	194	DO 51	Comando motore elettrico 1	
	2052	195	DO 52	Comando motore elettrico 2	
	2053	196	DO 53	Controllo flusso pompa "alta pressione" su motore principale	EV-501
	2054	197	DO 54	Controllo flusso pompa "alta pressione" su motore principale	EV-502
	2055	198	DO 55	Consenso accensione motore principale	
	2056	199	DO 56	Consenso accensione motore secondario	
	2057	200	DO 57	Allarme luminoso serbatoi in numero ridotto	
	2058	201	DO 58	Controllo flussi pompe linea "alta pressione"	EV-601
	2059	202	DO 59	Controllo flussi pompe linea "alta pressione"	EV-602
	2060	203	DO 60	Controllo flussi pompe linea "alta pressione"	EV-603
	2061	204	DO 61	Controllo flussi pompe linea "alta pressione"	EV-604
	2062	205	DO 62	Controllo flussi pompe linea "alta pressione"	EV-605
	2063	206	DO 63	Indicatore luminoso skeg abbassato	
	2064	207	DO 64		

ESPANSIONE 4 Can-bus 2

IO-RO16	Digital Output		Mors	Descrizione	Annotazioni
	Indirizzo				
	2065	208	DO 65		EV-306
	2066	209	DO 66		
	2067	210	DO 67		
	2068	211	DO 68		
	2069	212	DO 69	Controllo flusso sistema propulsivo in modalità normale	EV-306
	2070	213	DO 70	Controllo flusso sistema propulsivo in modalità emergenza	EV-307
	2071	214	DO 71		
	2072	215	DO 72	Controllo flusso linea "bassa pressione"	EV 705
	2073	216	DO 73	Controllo flusso linea "alta pressione"	EV 606
	2074	217	DO 74	Controllo flusso linea "alta pressione"	EV 607
	2075	218	DO 75	Controllo flusso load sensing	EV 610 LS
	2076	219	DO 76	Controllo flusso load sensing	EV 611 LS
	2077	220	DO 77	Controllo flusso linea "bassa pressione" da motore secondario	EV 706
	2078	221	DO 78	Controllo flusso linea "bassa pressione" da motore secondario	EV 707
	2079	222	DO 79	Controllo flusso linea "bassa pressione" da motore principale	EV 708
	2080	223	DO 80	Controllo flusso load sensing	EV 762

ESPANSIONE 5 Can-bus 2					
IO-RO16	Digital Output		Mors	Descrizione	Annotazioni
	Indirizzo				
	2081	224	DO 81		
	2082	225	DO 82		
	2083	226	DO 83		
	2084	227	DO 84	Controllo flusso sistema propulsivo in modalità emergenza	EV-720
	2085	228	DO 85	Controllo flusso sistema propulsivo in modalità emergenza	EV-721
	2086	229	DO 86		
	2087	230	DO 87		
	2088	231	DO 88		
	2089	232	DO 89		
	2090	233	DO 90		
	2091	234	DO 91	Relè scambio valvole proporzionali verricello primario (lato destro)	EVP-40/41
	2092	235	DO 92	Relè scambio valvole proporzionali verricello primario (lato sinistro)	EVP-42/43
	2093	236	DO 93	Relè scambio valvole proporzionali verricello volante (lato destro)	EVP-44/45
	2094	237	DO 94	Relè scambio valvole proporzionali verricello volante (lato destro)	EVP-46/47
	2095	238	DO 95	Relè scambio valvole proporzionali verricello pozzetto (lato destro)	EVP-48/49
	2096	239	DO 96	Relè scambio valvole proporzionali verricello pozzetto (lato sinistro)	EVP-50/51

ESPANSIONE 6 Can-bus 2				
IO-AO6X	Analogic Output	Mors	Descrizione	Annotazioni
	Indirizzo			
	Mi 1001	AO 4	Controllo valvole proporzionali verricello primario (lato destro)	EVP-40/41
	Mi 1002	AO 5	Controllo valvole proporzionali verricello primario (lato sinistro)	EVP-42/43
	Mi 1003	AO 6	Controllo valvole proporzionali verricello volante (lato destro)	EVP-44/45
	Mi 1004	AO 7	Controllo valvole proporzionali verricello volante (lato sinistro)	EVP-46/47
	Mi 1005	AO 8	Controllo valvole proporzionali verricello pozzetto (lato destro)	EVP-48/49
	Mi 1006	AO 9	Controllo valvole proporzionali verricello pozzetto (lato destro)	EVP-50/51

ADATTATORE REMOTO Can-bus 3
EX-RC1

ESPANSIONE 1 Can-bus 3			
IO-DI16	Digital Input	Mors	Descrizione	Annotazioni
	Indirizzo			
	Mb 82	DI 82	Pulsante comando 1° velocità verricello primario (lato destro)	
	Mb 83	DI 83	Pulsante comando 2° velocità verricello primario (lato destro)	
	Mb 84	DI 84	Pulsante comando 1° velocità verricello primario (lato sinistro)	
	Mb 85	DI 85	Pulsante comando 2° velocità verricello primario (lato sinistro)	
	Mb 86	DI 86	Pulsante comando 1° velocità verricello volante (lato destro)	
	Mb 87	DI 87	Pulsante comando 2° velocità verricello volante (lato destro)	
	Mb 88	DI 88	Pulsante comando 1° velocità verricello volante (lato sinistro)	
	Mb 89	DI 89	Pulsante comando 2° velocità verricello volante (lato sinistro)	
	Mb 90	DI 90	Pulsante comando 1° velocità verricello pozzetto (lato destro)	
	Mb 91	DI 91	Pulsante comando 2° velocità verricello pozzetto (lato destro)	
	Mb 92	DI 92	Pulsante comando 1° velocità verricello pozzetto (lato sinistro)	
	Mb 93	DI 93	Pulsante comando 2° velocità verricello pozzetto (lato sinistro)	
	Mb 94	DI 94	Pulsante rilascio rapido caricabasso boma	
	Mb 95	DI 95		
	Mb 96	DI 96	Pulsante sollevamento skeg	
	Mb 97	DI 97	Pulsante discesa skeg	

ESPANSIONE 2 Can-bus 3			
IO-DI16	Digital Input	Mors	Descrizione	Annotazioni
	Indirizzo			
	Mb 98	DI 98		
	Mb 99	DI 99	Pulsante innalzamento velocità di rotazione motore principale	
	Mb 100	DI 100	Pulsante sollevamento skeg	
	Mb 101	DI 101	Pulsante discesa skeg	
	Mb 102	DI 102	Sensore di prossimità cilindro disinnesto timoni (limite superiore)	
	Mb 103	DI 103	Sensore di prossimità cilindro disinnesto timoni (limite inferiore)	
	Mb 104	DI 104	Pulsante discesa portellone di poppa	
	Mb 105	DI 105	Pulsante sollevamento portellone di poppa	
	Mb 106	DI 106	Pulsante luci pulsantiere	
	Mb 107	DI 107		
	Mb 108	DI 108		
	Mb 109	DI 109		
	Mb 110	DI 110	Selettore accensione alternatore	
	Mb 111	DI 111	Selettore accensione motore secondario	
	Mb 112	DI 112	Selettore propulsione modalità emergenza	
	Mb 113	DI 113		

ESPANSIONE 3 Can-bus 3				
IO-DI16	Digital Input	Mors	Descrizione	Annotazioni
	Indirizzo			
	Mb 114	DI 114	Tensionamento gennaker	EV-184
	Mb 115	DI 115	Rilascio gennaker	EV-185
	Mb 116	DI 116		
	Mb 117	DI 117		
	Mb 118	DI 118		
	Mb 119	DI 119		
	Mb 120	DI 120		
	Mb 121	DI 121		
	Mb 122	DI 122		
	Mb 123	DI 123		
	Mb 124	DI 124		
	Mb 125	DI 125		
	Mb 126	DI 126		
	Mb 127	DI 127		
	Mb 128	DI 128		
	Mb 129	DI 129		

ESPANSIONE 4 Can-bus 3				
IO-AI8	Analogic Input	Mors	Descrizione	Annotazioni
	Indirizzo			
	Mi 1900	AI 36	Sensore pressione verricello primario (lato destro)	P-040 (0÷10 V)
	Mi 1901	AI 37	Sensore pressione verricello primario (lato destro)	P-041 (0÷10 V)
	Mi 1902	AI 38	Sensore pressione verricello primario (lato sinistro)	P-042 (0÷10 V)
	Mi 1903	AI 39	Sensore pressione verricello primario (lato sinistro)	P-043 (0÷10 V)
	Mi 1904	AI 40	Sensore pressione verricello volante (lato destro)	P-044 (0÷10 V)
	Mi 1905	AI 41	Sensore pressione verricello volante (lato destro)	P-045 (0÷10 V)
	Mi 1906	AI 42	Sensore pressione verricello volante (lato sinistro)	P-046 (0÷10 V)
	Mi 1907	AI 43	Sensore pressione verricello volante (lato sinistro)	P-047 (0÷10 V)

ESPANSIONE 5 Can-bus 3				
IO-AI8	Analogic Input	Mors	Descrizione	Annotazioni
	Indirizzo			
	Mi 1908	AI 44	Sensore pressione verricello albero (lato destro)	P-048 (0÷10 V)
	Mi 1909	AI 45	Sensore pressione verricello albero (lato destro)	P-049 (0÷10 V)
	Mi 1910	AI 46	Sensore pressione verricello albero (lato sinistro)	P-050 (0÷10 V)
	Mi 1911	AI 47	Sensore pressione verricello albero (lato sinistro)	P-051 (0÷10 V)
	Mi 1912	AI 48	Sensore pressione camera cilindro volante (lato destro)	P-052 (0÷10 V)
	Mi 1913	AI 49	Sensore pressione camera cilindro volante (lato destro)	P-053 (0÷10 V)
	Mi 1914	AI 50	Sensore di posizione stelo cilindro sartia lato destro (lato 2:1)	S-052 (4-20 mA)
	Mi 1915	AI 51	Sensore di posizione stelo cilindro sartia lato destro (lato 4:1)	S-053 (4-20 mA)

ESPANSIONE 6 Can-bus 3					
IO-DI16	Digital Output		Mors	Descrizione	Annotazioni
	Indirizzo				
	2097	240	DO 97	Relè scambio valvole proporzionali cilindro doppio a doppio effetto	EVP-52/53
	2098	241	DO 98	Relè scambio valvole proporzionali cilindro doppio a doppio effetto	EVP-54/55
	2099	242	DO 99	Relè scambio valvole proporzionali cilindro a doppio effetto	EVP-56/57
	2100	243	DO 100		
	2101	244	DO 101		
	2102	245	DO 102	Relè scambio valvole proporzionali sistema propulsivo (condizione emergenza)	EVP-712/713
	2103	246	DO 103		
	2104	247	DO 104		
	2105	248	DO 105		
	2106	249	DO 106		
	2107	250	DO 107		
	2108	251	DO 108		
	2109	252	DO 109		
	2110	253	DO 110		
	2111	254	DO 111	Controllo flusso load sensing	EV-069
	2112	255	DO 112		

ESPANSIONE 7 Can-bus 3			
IO-AO6X	Analogic Output	Mors	Descrizione	Annotazioni
	Indirizzo			
	Mi 1007	AO 10	Controllo valvole proporzionali cilindro doppio a doppio effetto	EVP-52/53
	Mi 1008	AO 11	Controllo valvole proporzionali cilindro doppio a doppio effetto	EVP-54/55
	Mi 1009	AO 12	Controllo valvole proporzionali cilindro a doppio effetto	EVP-56/57
	Mi 1010	AO 13	Controllo valvola proporzionale dissalatore	EVP-59
	Mi 1011	AO 14	Controllo valvola proporzionale scambiatore di calore	EVP-60
	Mi 1012	AO 15	Controllo valvola proporzionale alternatore	EVP-714

ESPANSIONE 8 Can-bus 3				
IO-AO6X	Analogic Output	Mors	Descrizione	Annotazioni
	Indirizzo			
	Mi 1013	AO 16	Controllo valvola proporzionale ventilatore	EVP-711
	Mi 1014	AO 17	Controllo valvola proporzionale linea "alta pressione"	EVP-500
	Mi 1015	AO 18	Controllo valvole proporzionali sistema propulsivo (condizione emergenza)	EVP-712/713
	Mi 1016	AO 19	Controllo valvola proporzionale gestione piattello pompa propulsione (marcia avanti)	EVP-622
	Mi 1017	AO 20		
	Mi 1018	AO 21	Controllo valvola proporzionale gestione piattello pompa propulsione (marcia indietro)	EVP-623

ADATTATORE REMOTO Can-bus 4
EX-RC1

ESPANSIONE 1 Can-bus 4

IO-DI16	Digital Input	Mors	Descrizione	Annotazioni
	Indirizzo			
	Mb 130	**DI 130**	*Pulsante comando 1° velocità verricello albero (lato destro)*	
	Mb 131	**DI 131**	*Pulsante comando 2° velocità verricello albero (lato destro)*	
	Mb 132	**DI 132**	*Pulsante comando 1° velocità verricello albero (lato sinistro)*	
	Mb 133	**DI 133**	*Pulsante comando 2° velocità verricello albero (lato sinistro)*	
	Mb 134	**DI 134**	*Pulsante comando 1° velocità salpa ancora*	
	Mb 135	**DI 135**	*Pulsante comando 2° velocità salpa ancora*	
	Mb 136	**DI 136**	*Pulsante comando sollevamento ancora*	
	Mb 137	**DI 137**	*Pulsante comando discesa ancora*	
	Mb 138	**DI 138**	*Pulsante spostamento base albero*	
	Mb 139	**DI 139**	*Pulsante spostamento base albero*	
	Mb 140	**DI 140**		
	Mb 141	**DI 141**		
	Mb 142	**DI 142**		
	Mb 143	**DI 143**		
	Mb 144	**DI 144**	*Pulsante sollevamento chiglia*	
	Mb 145	**DI 145**	*Pulsante discesa chiglia*	

ESPANSIONE 2 Can-bus 4

IO-AI8	Analogic Input	Mors	Descrizione	Annotazioni
	Indirizzo			
	Mi 1916	**AI 52**	*Sensore pressione su linea tensionatore secondo strallo*	*P-100 (0÷10 V)*
	Mi 1917	**AI 53**	*Sensore pressione su linea tensionatore strallo principale*	*P-102 (0÷10 V)*
	Mi 1918	**AI 54**	*Sensore di posizione strallo principale*	*S-102*
	Mi 1919	**AI 55**	*Sensore pressione su linea cunnigham del fiocco*	*P-104 (0÷10 V)*
	Mi 1920	**AI 56**	*Sensore pressione su linea tesabase*	*P-130 (0÷10 V)*
	Mi 1921	**AI 57**	*Sensore pressione su linea caricabasso borna*	*P-132 (0÷10 V)*
	Mi 1922	**AI 58**	*Sensore pressione su linea sollevamento chiglia*	*P-140 (0÷10 V)*
	Mi 1923	**AI 59**	*Sensore pressione su linea discesa chiglia*	*P-142 (0÷10 V)*

ESPANSIONE 3 Can-bus 4

IO-AI8	Analogic Input	Mors	Descrizione	Annotazioni
	Indirizzo			
	Mi 1924	**AI 60**	*Sensore di posizione chiglia*	*S-142 (0÷10 V)*
	Mi 1925	**AI 61**	*Sensore pressione su linea cunningham della randa*	*P-180 (0÷10 V)*
	Mi 1926	**AI 62**	*Sensore pressione su linea deflettore*	*P-182 (0÷10 V)*
	Mi 1927	**AI 63**	*Sensore di posizione cilindro deflettore*	*S-182 (4÷20 mA)*
	Mi 1928	**AI 64**	*Sensore pressione su linea tensionatore gennaker*	*P-184 (0÷10 V)*
	Mi 1929	**AI 65**	*Sensore pressione verricello albero (lato destro)*	*P-070 (0÷10 V)*
	Mi 1930	**AI 66**	*Sensore pressione verricello albero (lato destro)*	*P-071 (0÷10 V)*
	Mi 1931	**AI 67**	*Sensore pressione verricello albero (lato sinistro)*	*P-072 (0÷10 V)*

ESPANSIONE 4 Can-bus 4

IO-AI8	Analogic Input	Mors	Descrizione	Annotazioni
	Indirizzo			
	Mi 1932	**AI 68**	*Sensore pressione verricello albero (lato sinistro)*	*P-073 (0÷10 V)*
	Mi 1933	**AI 69**	*Sensore pressione avvolgifiocco*	*P-074 (0÷10 V)*
	Mi 1934	**AI 70**	*Sensore pressione avvolgifiocco*	*P-075 (0÷10 V)*
	Mi 1935	**AI 71**	*Sensore pressione salpa ancora*	*P-076 (0÷10 V)*
	Mi 1936	**AI 72**	*Sensore pressione salpa ancora*	*P-077 (0÷10 V)*
	Mi 1937	**AI 73**	*Sensore pressione camera cilindro scotta randa*	*P-078 (0÷10 V)*
	Mi 1938	**AI 74**	*Sensore pressione camera cilindro scotta randa*	*P-079 (0÷10 V)*
	Mi 1939	**AI 75**	*Sensore di posizione stelo cilindro scotta randa (lato 4:1)*	*S-078*

ESPANSIONE 5 Can-bus 4

IO-AI8	Analogic Input	Mors	Descrizione	Annotazioni
	Indirizzo			
	Mi 1940	**AI 76**	*Sensore di posizione stelo cilindro scotta randa (lato 2:1)*	*S-079*
	Mi 1941	**AI 77**	*Sensore pressione su linea cilindro spostamento base albero*	*P-186 (0÷10 V)*
	Mi 1942	**AI 78**	*Sensore pressione su linea cilindro spostamento base albero*	*P-188 (0÷10 V)*
	Mi 1943	**AI 79**	*Sensore di posizione cilindro tensionatore gennaker*	*S-184 (4÷20 mA)*
	Mi 1944	**AI 80**	*Sensore di posizione cilindro tensionatore secondo strallo*	*S-100 (4÷20 mA)*
	Mi 1945	**AI 81**		
	Mi 1946	**AI 82**		
	Mi 1947	**AI 83**		

ESPANSIONE 6 Can-bus 4

IO-RO16	Digital Output		Mors	Descrizione	Annotazioni
	Indirizzo				
	2145	*288*	**DO 145**	*Controllo flusso sistema spostamento base albero*	*EV-186*
	2146	*289*	**DO 146**	*Controllo flusso sistema spostamento base albero*	*EV-187*
	2147	*290*	**DO 147**	*Controllo flusso sistema spostamento base albero*	*EV-188*
	2148	*291*	**DO 148**	*Controllo flusso sistema spostamento base albero*	*EV-189*
	2149	*292*	**DO 149**		
	2150	*293*	**DO 150**		
	2151	*294*	**DO 151**		
	2152	*295*	**DO 152**		
	2153	*296*	**DO 153**		
	2154	*297*	**DO 154**		
	2155	*298*	**DO 155**		
	2156	*299*	**DO 156**		
	2157	*300*	**DO 157**		
	2158	*301*	**DO 158**		
	2159	*302*	**DO 159**		
	2160	*303*	**DO 160**		

ADATTATORE REMOTO Can-bus 5 EX-RC1

ESPANSIONE 1 Can-bus 5 IO-DI16	Digital Output		Mors	Descrizione	Annotazioni
	Indirizzo				
	2113	256	**DO 113**	Controllo flusso olio culatta cilindro scotta randa (lato 4:1)	EV-093
	2114	257	**DO 114**	Controllo flusso olio culatta cilindro scotta randa (lato 2:1)	EV-094
	2115	258	**DO 115**	Rilascio rapido cilindro scotta randa (lato 4:1)	EV-095
	2116	259	**DO 116**	Controllo flusso olio testata cilindro scotta randa (lato 4:1)	EV-096
	2117	260	**DO 117**	Controllo flusso olio testata cilindro scotta randa (lato 2:1)	EV-097
	2118	261	**DO 118**	Rilascio rapido cilindro caricabasso boma	EV-135
	2119	262	**DO 119**	Controllo flusso tensionatore secondo strallo (trazione)	EV-100
	2120	263	**DO 120**	Controllo flusso tensionatore secondo strallo (rilascio)	EV-101
	2121	264	**DO 121**	Controllo flusso tensionatore strallo principale (trazione)	EV-102
	2122	265	**DO 122**	Controllo flusso tensionatore strallo principale (rilascio)	EV-103
	2123	266	**DO 123**	Controllo flusso cunningham del fiocco (trazione)	EV-104
	2124	267	**DO 124**	Controllo flusso cunningham del fiocco (rilascio)	EV-105
	2125	268	**DO 125**	Controllo flusso tesabase (trazione)	EV-130
	2126	269	**DO 126**	Controllo flusso tesabase (rilascio)	EV-131
	2127	270	**DO 127**	Controllo flusso caricabasso boma (trazione)	EV-132
	2128	271	**DO 128**	Controllo flusso caricabasso boma (rilascio)	EV-133

ESPANSIONE 2 Can-bus 5 IO-RO16	Digital Output		Mors	Descrizione	Annotazioni
	Indirizzo				
	2129	272	**DO 129**	Controllo flusso sistema sollevamento chiglia	EV-140
	2130	273	**DO 130**	Controllo flusso sistema sollevamento chiglia	EV-141
	2131	274	**DO 131**	Controllo flusso sistema sollevamento chiglia	EV-142
	2132	275	**DO 132**	Controllo flusso sistema sollevamento chiglia	EV-143
	2133	276	**DO 133**	Controllo flusso cunningham della randa (trazione)	EV-180
	2134	277	**DO 134**	Controllo flusso cunningham della randa (rilascio)	EV-181
	2135	278	**DO 135**	Controllo flusso deflettore (trazione)	EV-182
	2136	279	**DO 136**	Controllo flusso deflettore (rilascio)	EV-183
	2137	280	**DO 137**	Controllo flusso tensionatore gennaker (trazione)	EV-184
	2138	281	**DO 138**	Controllo flusso tensionatore gennaker (rilascio)	EV-185
	2139	282	**DO 139**	Controllo flusso load sensing	EV-062
	2140	283	**DO 140**	Relè scambio valvole proporzionali verricello albero (lato destro)	EVP-70/71
	2141	284	**DO 141**	Relè scambio valvole proporzionali verricello albero (lato sinistro)	EVP-72/73
	2142	285	**DO 142**	Relè scambio valvole proporzionali avvolgifiocco	EVP-74/75
	2143	286	**DO 143**	Relè scambio valvole proporzionali salpa ancora	EVP-76/77
	2144	287	**DO 144**	Relè scambio valvole proporzionali cilindro doppio a doppio effetto	EVP-78/79

ESPANSIONE 3 Can-bus 5 IO-AO6X	Analogic Output	Mors	Descrizione	Annotazioni
	Indirizzo			
	Mi 1025	**AO 28**	Controllo valvole proporzionali verricello albero (lato destro)	EVP-70/71
	Mi 1026	**AO 29**	Controllo valvole proporzionali verricello albero (lato sinistro)	EVP-72/73
	Mi 1027	**AO 30**	Controllo valvole proporzionali avvolgifiocco	EVP-74/75
	Mi 1028	**AO 31**	Controllo valvole proporzionali salpa ancora	EVP-76/77
	Mi 1029	**AO 32**	Controllo valvole proporzionali salpa ancora	EVP-78/79
	Mi 1030	**AO 33**	Controllo valvola proporzionale rilascio rapido scotta randa	EVP-144

Capitolo 5

Le sartie volanti

In questo capitolo viene descritto in maniera completa il funzionamento delle sartie volanti. La scelta di spiegare una funzione nello specifico permette di comprendere meglio come l'oleodinamica venga sfruttata per svolgere una determinata operazione a bordo di un'imbarcazione. Le manovre correnti scelte sono particolarmente significative in quanto sfruttano l'oleodinamica per creare un meccanismo innovativo, del tutto unico nel suo genere.
I vantaggi offerti da questi sistemi sono notevoli e permettono di giungere al concetto di "easy sailing". L'obiettivo è quello di semplificare il più possibile le operazioni che l'equipaggio di una barca a vela deve svolgere durante la navigazione. Semplificare significa dover disporre di un numero inferiore di uomini, avere una maggiore sicurezza nello svolgere le operazioni, avere un miglior controllo della barca, poter intervenire agevolmente per risolvere le situazioni di pericolo che si possono verificare.

5.1 Descrizione delle manovre

Le sartie volanti sono delle manovre che collegano la parte superiore dell'albero al piano di coperta della barca, nella zona poppiera. Sono posizionate agli estremi laterali dell'imbarcazione per evitare che entrino in contatto con la parte più alta della randa, durante i suoi movimenti. Esse hanno lo scopo di sostenere l'albero e contrastare il carico di trazione imposto dagli stralli di prua.
Per comprendere meglio i concetti appena esposti è bene aprire una breve parentesi riguardante l'utilizzo dell'attrezzatura dell'imbarcazione.
Quando le vele sono ammainate agli stralli ed alle sartie viene applicato un carico di trazione di modesta entità atto a mantenere l'albero nella corretta posizione. Quando le vele vengono spiegate le forze che si creano dalla loro interazione con il vento devono necessariamente scaricarsi sulle manovre, che a questo punto saranno soggette a carichi di elevata entità. In particolare lo strallo di prua tenderà ad essere curvato sotto l'azione del fiocco che assumerà una forma svantaggiosa dal punto di vista aerodinamico. L'equipaggio dovrà dunque procedere ad aumentare la tensione sullo strallo per riportare l'inferitura del fiocco ad assumere una forma rettilinea. Le

sartie volanti servono dunque a contrastare l'azione dello strallo che altrimenti causerebbe una deformazione dell'albero nella parte superiore.
Inoltre il complesso delle manovre correnti viene sfruttato per modificare la forma dell'albero nella sua parte centrale, col fine di modificare la forma assunta della randa. Questo permette di adattare meglio la vela alle differenti condizioni di vento e di navigazione. Come visibile in figura 5.1 un cavo (1) collega l'albero ad una puleggia (2) all'interno della quale scorre una cima, che tramite una serie di rinvii, è collegata da un lato ad un verricello oleodinamico (3), dall'altro ad un cilindro doppio a doppio (4) effetto denominato MagicDouble (per maggiori chiarimenti sul dispositivo si rimanda al paragrafo 3.4.1.1.).

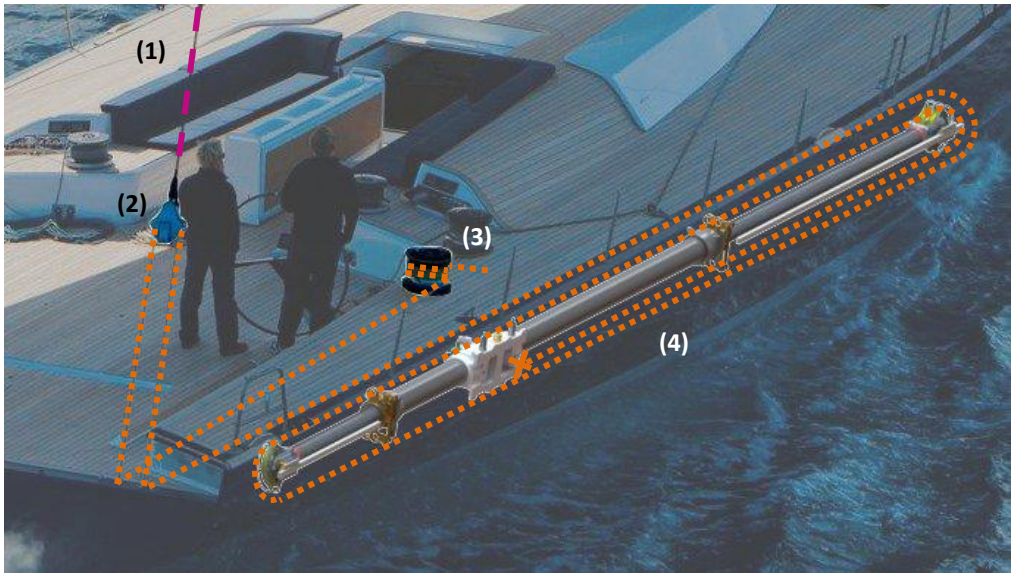


Figura 5.1 Dispositivo di comando della sartia volante destra.

L'estremo di una cima è vincolato alla culatta del cilindro tramite un apposito foro ricavato sulla sua superficie. La cima passa attraverso una prima puleggia posta nella parte terminale dello stelo con corsa maggiore, prosegue lungo l'intero sviluppo del cilindro e viene rinviata da una seconda puleggia posta all'estremità dello stelo con corsa minore. A questo punto percorre di nuovo l'intera lunghezza del cilindro e viene rinviata da una seconda puleggia posta all'estremità dello stelo con corsa più elevata.
Proseguendo, viene rinviata al di sopra del piano di coperta dove passa all'interno di una puleggia mobile collegata all'estremo inferiore della sartia volante. A questo punto torna di nuovo sotto coperta, e tramite un'ultima puleggia, viene rinviata ad un verricello intorno al cui tamburo compie una serie di giri per poi venire fissata tramite

uno strozzascotte. La presenza del verricello, di per sé superflua, è imposta da vincoli regolamentari di categoria. In questo modo in caso di malfunzionamento dei cilindri oleodinamici l'equipaggio potrà comunque intervenire sulla regolazione delle manovre evitando di finire in situazioni di pericolo.
La regolazione della cima avviene muovendo gli steli dei cilindri, con le dovute forze legate ai rinvii intorno alle pulegge.
Il progettista dell'imbarcazione fornisce carico massimo e spostamento massimo della manovra, in questo modo il meccanismo può essere dimensionato di conseguenza. Nella tabella 6.1 sono riportate le principali caratteristiche delle manovre.

Carico massimo di lavoro [N]	121840
Carico di picco [N]	191944
Carico di rottura [N]	292416
Spostamento massimo [mm]	3500

Tabella 5.1. Principali caratteristiche relative alle sartie volanti.

Il dimensionamento viene fatto partendo dalla scelta dei massimi valori di pressione a cui si vuole che la parte dell'impianto oleodinamico relativa alla manovra in oggetto lavori. Partendo da questo valore è possibile determinare la dimensione della superficie del pistone a contatto col fluido, necessaria a generare la forza richiesta.
Le valvole di massima pressione presenti sulla culatta del cilindro vengono regolate in modo che la loro apertura si verifichi al raggiungimento del valore di pressione generato dal carico di picco. Il dimensionamento meccanico di tutti i componenti viene fatto invece sfruttando il carico di rottura.

5.2 Descrizione funzionamento impianto oleodinamico

In questo paragrafo verrà descritto nello specifico il funzionamento di una funzione, in particolare il cilindro oleodinamico doppio ed a doppio effetto che controlla la regolazione della sartia volante destra. Verrà dunque analizzato l'intero percorso effettuato dal flusso d'olio durante il funzionamento della manovra nella condizione di utilizzo definita regata (per maggiori chiarimenti sulle modalità di funzionamento dell'impianto riferirsi al paragrafo 4.4 del capitolo 4).
Facendo riferimento alle figure riportate di seguito, il motore endotermico principale è collegato a tre pompe disposte in serie, quella principale (1) destinata all'alimentazione del motore oleodinamico che movimenta il sistema propulsivo, viene

portata a cilindrata nulla in quanto in questa modalità di funzionamento il suddetto motore oleodinamico non deve essere alimentato. La pompa di “alta pressione” (3), invece, è a cilindrata fissa ed è costretta a generare una certa portata durante il funzionamento del sistema. Essa invia il flusso ad uno specifico distributore (4) che lo indirizza direttamente verso il serbatoio nel caso nessuna funzione relativa alla suddetta linea venga attivata. La potenza assorbita dalla due macchine è dunque molto bassa ed è legata alle sole perdite d’attrito fra gli organi interni alle macchine stesse ed allo spostamento dell’olio.
La pompa di “bassa pressione” (2) alimenta un altro distributore il cui schema è riportato in figura 5.3.

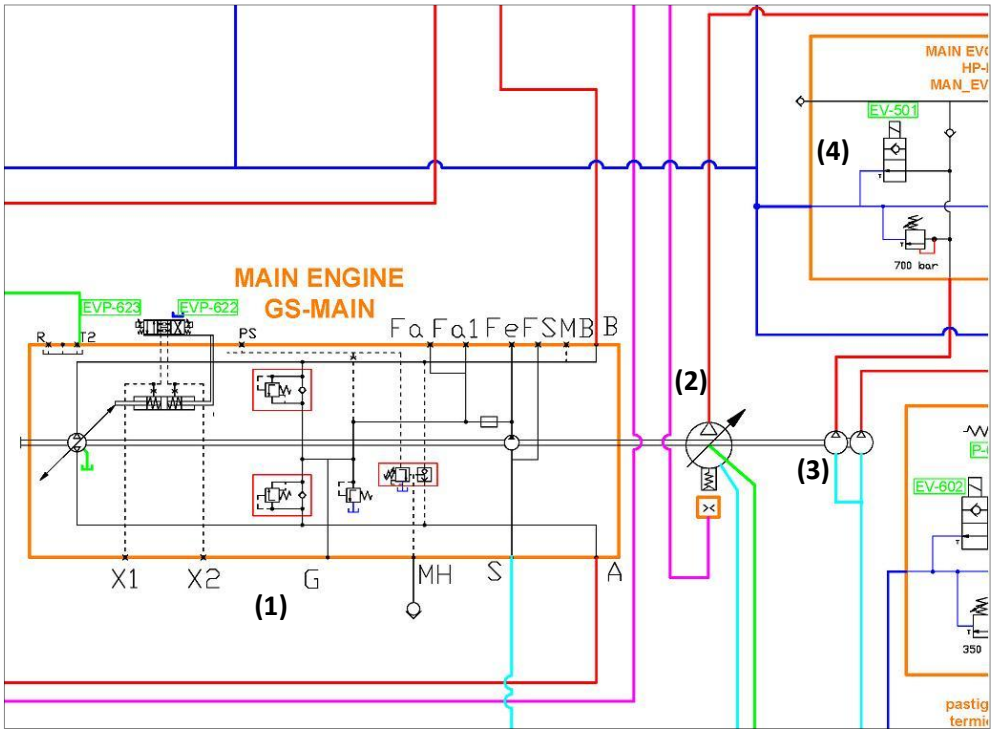


Figura 5.2. Schema delle pompe oleodinamiche connesse al motore endotermico principale.

L’olio fluisce attraverso tre valvole di non ritorno (5) che hanno la funzione di impedire il flusso d’olio nel verso opposto quando l’impianto è alimentato dal motore endotermico secondario. Le tre valvole disposte in parallelo consentono il passaggio di una maggiore portata.

Il flusso fluisce poi all'interno del distributore dove incontra delle valvole di non ritorno in corrispondenza delle elettrovalvole EV-706 (6) ed EV-705 (7) che ne impediscono il passaggio. L'elettrovalvola EV-708 (8) è invece normalmente chiusa, essa impedisce il passaggio dell'olio quando il suo solenoide di comando non viene eccitato. L'olio potrà dunque scorrere verso l'unica direzione rimasta percorribile (9) uscente dal distributore in questione e diretta verso altri due collettori. Ciascuno di essi è costituito da blocchi identici fra loro, disposti in serie, ciascuno dei quali collegato alle linee di alimentazione di cilindri o motori oleodinamici. Elettrovalvole proporzionali normalmente chiuse controllano i flussi di olio verso queste utenze. Se nessuna di esse viene eccitata l'olio fluisce lungo l'intero collettore uscendo dall'estremo opposto e ritornando al serbatoio.

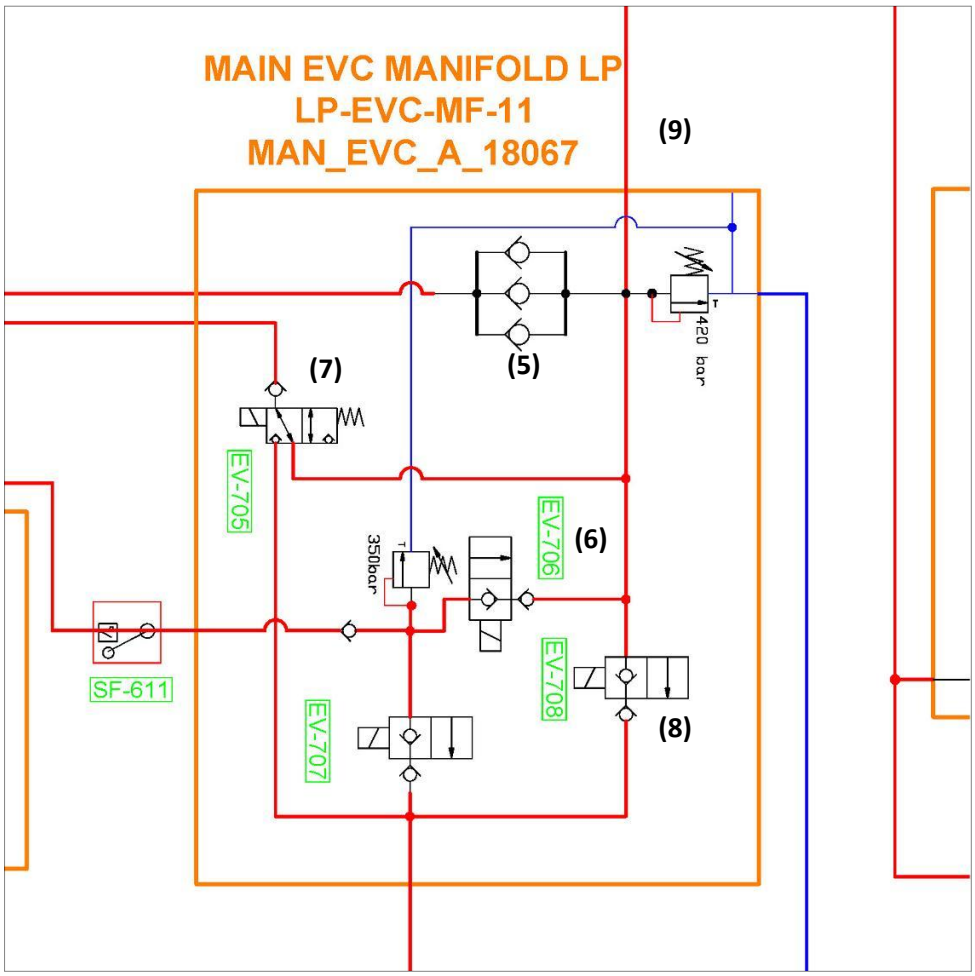


Figura 5.3. Schema distributore linea in "bassa pressione".

Nell'esempio qui esposto si partirà da una configurazione in cui il cilindro, da completamente chiuso, vorrà essere completamente aperto; successivamente si effettuerà l'operazione opposta riportando il sistema nella configurazione di partenza.
Quando si vuole tesare la sartia volante si deve aprire la valvola EVP-052 (posta nel collettore 11 di figura 5.4) in modo che l'olio possa scorrere verso la culatta del cilindro, a questo punto aprendo la valvola EV-080 esso potrà fluire verso la camera del cilindro che presenta un rapporto di moltiplicazione della corsa della cima pari a quattro volte (chiamato nel seguito 4:1) decretando lo spostamento del pistone. L'olio contenuto nella testata potrà defluire attraverso una valvola normalmente aperta posta in un ulteriore distributore (10) collegato al serbatoio. Quando il pistone avrà effettuato tutta la sua corsa disponibile la valvola di alimentazione verrà chiusa; a questo punto aprendo la valvola EV-081, l'olio potrà fluire verso la camera del cilindro opposto il quale presenta un rapporto di moltiplicazione della corsa della cima pari a due volte (chiamato nel seguito 2:1) spostando il pistone fino alla sua massima corsa. L'olio nella testata defluirà attraverso la stessa valvola di scarico del cilindro 4:1 per poi defluire al serbatoio. Nel contempo l'elettrovalvola EVP-052 verrà chiusa.

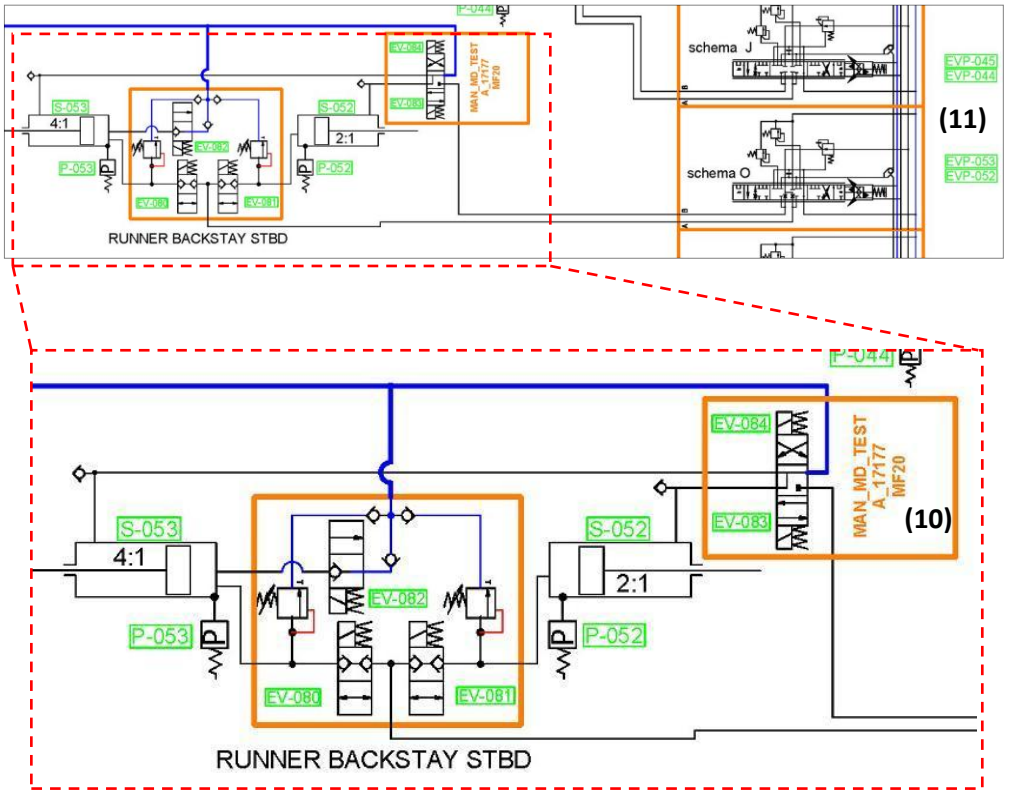


Figura 5.4. Schema collettori di distribuzione e cilindro doppio a doppio effetto.

A questo punto per lascare la manovra bisognerà aprire l'elettrovalvola EVP-053 attraverso cui l'olio potrà fluire verso un successivo distributore in cui incontrerà una valvola a cassetto comandata da due solenoidi. Eccitando il solenoide EV-083 il cursore della valvola si sposterà dalla sua condizione di equilibrio e permetterà all'olio di fluire verso la testata del cilindro 4:1. Perché il pistone possa muoversi è necessario che l'olio contenuto nella culatta possa defluire attraverso l'apertura della valvola EV-080. Terminata l'operazione di chiusura del cilindro la valvola verrà chiusa. Subito dopo verrà eccitato il secondo solenoide della valvola a cassetto (EV-084) che permetterà l'alimentazione della testata del cilindro 2:1. Come nel caso precedente l'olio presente nella culatta dovrà essere fatto defluire mediante l'apertura di un'altra valvola (l'EV-081). Nel caso l'equipaggio della barca ritenga necessario il rilascio della manovra in maniera rapida, l'apertura di un'opportuna valvola (EV-082) posizionata sulla culatta del cilindro permette il collegamento diretto fra la camera del cilindro 4:1 (contente un volume di liquido decisamente superiore rispetto al 2:1) e la linea di ritorno dell'olio verso il serbatoio, aggirando in questo modo i distributori. Questo consente al fluido di defluire più celermente velocizzando le operazioni di manovra.
Questa è la descrizione completa del funzionamento della parte dell'impianto dedita al controllo della sartia volante posizionata sul lato destro dell'imbarcazione. La sartia di sinistra viene controllata mediante una logica identica, il collettore principale (11) alimenta una parte di impianto uguale a quella appena descritta riprodotta in maniera equivalente sul lato opposto dell'imbarcazione.
Per ottimizzare il consumo di potenza richiesto dalla pompa, in testa al collettore principale è inserita una valvola che consente ad una piccola quantità di fluido in pressione di ritornare alla pompa modificandone la cilindrata e adattandola alla richiesta dell'utenza. Si tratta della tecnica definita "load sensing", per la quale una trattazione specifica è stata riservata al paragrafo 3.5.3.

5.3 Descrizione logica di controllo

In questo paragrafo verrà descritta la modalità operativa dell'impianto, relativa alla manovra descritta nel paragrafo precedente. In particolare verrà spiegato il funzionamento del sistema di gestione delle valvole che controllano l'andamento dei flussi di olio.
Partendo da una condizione in cui l'impianto risulta già avviato (motore endotermico principale in moto, operazioni di controllo sul sistema già effettuate dall'unità centrale con esito positivo) si mostrerà tutto ciò che intercorre fra l'operazione di comando imposta dall'equipaggio ed il movimento del meccanismo che ne consegue.

Supponiamo di trovarci a bordo dell'imbarcazione e di essere nella fase in cui, raggiunta una certa distanza dal porto, il comandante decide che sia giunto il momento di sollevare il sistema propulsivo e procedere con la navigazione a vela. L'equipaggio isserà dunque le vele e procederà alla loro regolazione. Successivamente ci verrà ordinato di tesare la sartia volante che si trova sul lato dell'imbarcazione da cui proviene il vento (supponiamo il lato destro). Tenendo premuto il pulsante relativo alla manovra, verrà chiuso un contatto elettrico ed il plc riceverà un segnale digitale in ingresso (per maggiori chiarimenti sul funzionamento del sistema riferirsi al paragrafo 5.5). Per come l'unità centrale è stata programmata, essa genererà dei segnali elettrici di tensione in uscita, diretti ai solenoidi delle valvole che si vuole controllare. Sensori di posizione lineari contenuti negli steli dei cilindri inviano dei segnali analogici in corrente alla stessa unità che interromperà la specifica operazione quando i valori di tali segnali raggiungeranno una determinata soglia impostata in fase di programmazione. La tabella 5.2 riporta i segnali relativi al comando delle elettrovalvole che gestiscono il pompaggio dell'olio all'interno delle culatte dei cilindri, permettendone l'apertura.

Segnali in ingresso			**Segnali in uscita**		
Pulsante di comando	->	DI 2	AO 10	->	Apertura EVP-052
Sensore di posizione lineare su cilindro (lato 4:1)	->	AI 51	DO 18	->	Apertura EV-080
Sensore di posizione lineare su cilindro (lato 2:1)	->	AI 50	DO 19	->	Apertura EV-081

Tabella 5.2. Segnali gestiti dall'unità centrale di controllo durante la fase di apertura del cilindro.

La regolazione della manovra può essere arrestata in un qualsiasi momento sospendendo l'azione sul pulsante di comando.
Un secondo pulsante comanda l'azione di rilascio mediante un'uguale modalità di funzionamento. I segnali gestiti dal plc e le relative funzioni sono riassunti nella tabella 5.3.

Segnali in ingresso			Segnali in uscita		
Pulsante di comando	->	DI 3	AO 10	->	Apertura EVP-053[(1)]
Sensore di posizione lineare su cilindro (lato 4:1)	->	AI 51	DO 22	->	Spostamento cassetto valvola EV-083
Sensore di posizione lineare su cilindro (lato 2:1)	->	AI 50	DO 21	->	Spostamento cassetto valvola EV-084

[(1)] L'unità di controllo comanda un relè che permette di indirizzare il segnale AO 10 verso una delle due valvole (EV-052 oppure EV-053).

Tabella 5.3. Segnali gestiti dall'unità centrale di controllo durante la fase di chiusura del cilindro.

Capitolo 6

Il manuale di gestione dell'impianto

Rappresenta uno strumento indispensabile alle persone che si troveranno ad utilizzare l'impianto ed ai tecnici che si occuperanno della sua messa in servizio, della sua ordinaria manutenzione e della risoluzione degli eventuali problemi che possono nascere durante il suo utilizzo. In esso sono raccolte tutte le informazioni riguardanti le modalità di funzionamento di tutti i sistemi che ne fanno parte, le loro principali caratteristiche, le modalità di collegamento dei vari dispositivi, i procedimenti per effettuare le regolazioni di una serie di parametri.
Inoltre l'azienda potrà usufruire di un agevole strumento contenente l'elenco completo dei componenti forniti al cliente, indispensabile per la fornitura di pezzi di ricambio e per la sostituzione di pezzi danneggiati o malfunzionanti.
Il manuale dovrà dunque essere redatto in maniera completa, chiara, sintetica e sufficientemente dettagliata.

6.1 Redazione del manuale

La notevole complessità del sistema, nonché le sue differenti modalità di funzionamento hanno richiesto una lunga serie di prove al banco dell'impianto che hanno rappresentato le fasi preliminari per la stesura del manuale operativo.
Ciò ha richiesto un'analisi dettagliata dell'intero sistema, dei componenti e sottocomponenti che lo costituiscono. E' stato dunque necessario raccogliere tutte le informazioni a riguardo, cercando di esporle nella maniera più chiara e logica possibile.
Inoltre si è dovuta prestare molta attenzione all'evoluzione del progetto dell'impianto durante le fasi di collaudo. Infatti una serie di problemi scaturiti durante queste fasi hanno portato all'effettuazione di una serie di modifiche ad alcune parti del sistema ed alle sue modalità di controllo. In particolare è stato ripensato l'intero gruppo di alimentazione del sistema propulsivo, dell'alternatore e del ventilatore della sala macchine, il motore endotermico secondario è stato sostituito con uno di maggiore potenza comportando la sostituzione delle pompe ad esso collegate.
E' stato dunque fondamentale relazionarsi con i tecnici che si sono occupati del progetto, della realizzazione e del collaudo di ciascun componente costituente l'impianto. Questo ha permesso di comprendere nel dettaglio il funzionamento del sistema, i motivi che hanno portato al compimento di determinate scelte, gli aspetti

più delicati del funzionamento e della gestione. Questo ha fornito un'ulteriore serie di informazioni, che aggiunte a quelle precedentemente acquisite hanno permesso la definizione del manuale.
Lo studio di tutti i dati a disposizione ha poi concesso un controllo accurato di tutte le funzioni, mettendo alla luce le eventuali incongruenze derivanti da sbagli e mancato aggiornamento di alcuni degli interventi apportati.
Particolare attenzione è stata data al controllo di tutti i segnali in ingresso ed uscita dal controllore a logica programmabile (plc), e delle potenzialità offerte dal sistema (modifica di alcuni parametri, controllo dei segnali, avvertimento in caso di funzionamento anomalo). Interfacciandosi col tecnico che si è occupato della stesura del programma, documentandosi sui meccanismi di funzionamento di questi dispositivi e venendo progressivamente aggiornati sulle modifiche richieste dal cliente si è giunti ad un quadro completo del funzionamento dell'intero sistema.
Il manuale ha subito così degli aggiornamenti che si sono avvicendati durante le sue fasi di stesura.

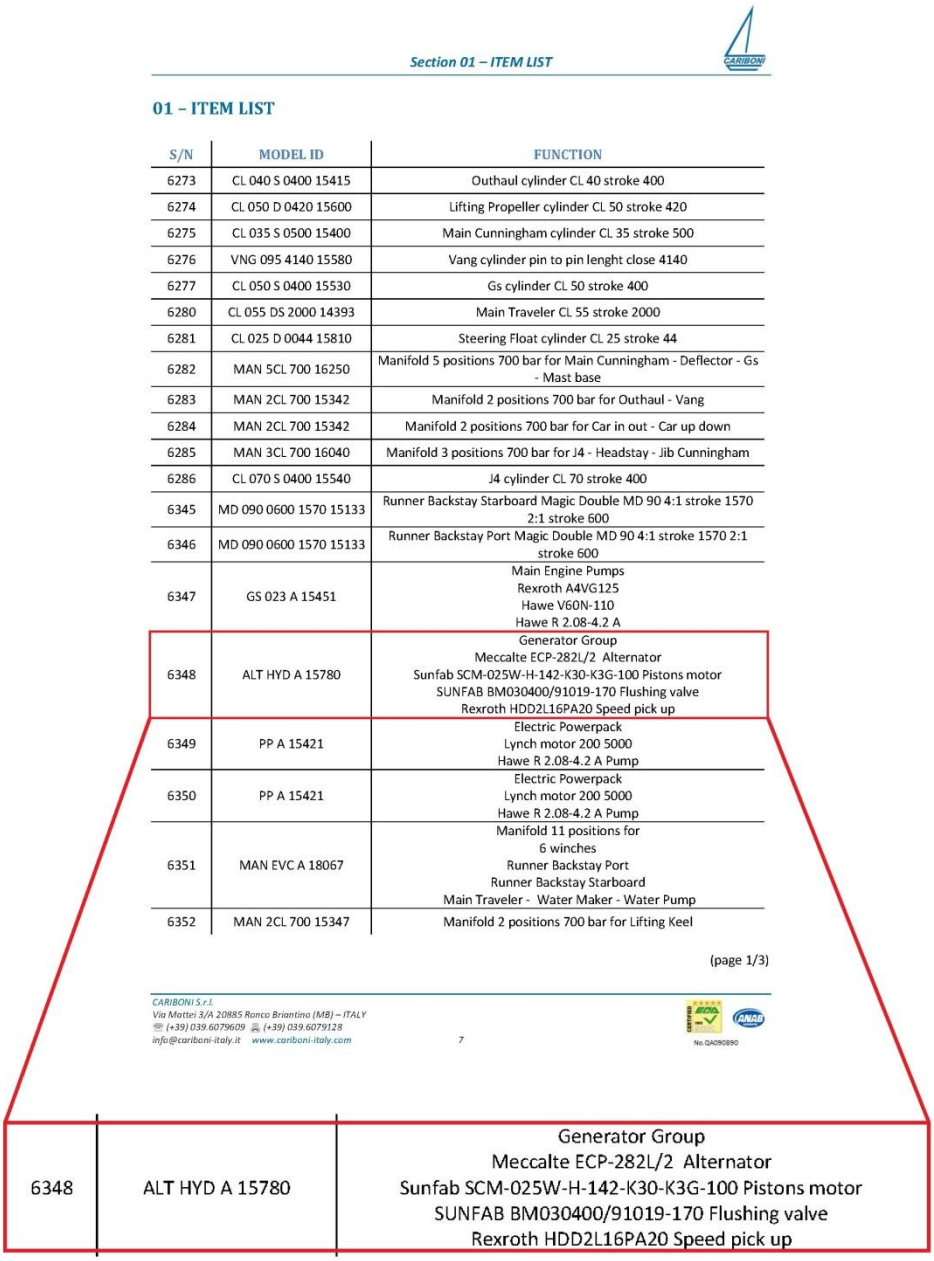
6.2 Struttura del manuale

Il manuale è strutturato in capitoli, ciascuno dedicato ad un preciso aspetto dell'impianto in modo da renderne più rapida la consultazione.
Nella prima parte viene riportato l'elenco completo dei dispositivi prodotti dall'azienda, codificati secondo lo standard da essa utilizzato. Ciascun componente, infatti, riporta un'etichetta contenente una serie di informazioni, quali: nome completo del disegno del dispositivo contenuto nella banca dati dell'azienda, data di consegna, codice di identificazione univoco. Questo consente l'identificazione del pezzo senza possibilità di errore ed un rapido accesso ai responsabili dell'ufficio tecnico dell'azienda alle caratteristiche di tutte le parti per rendere più agevole possibile il lavoro quando viene prestata assistenza al cliente.
Data l'estensione e la complessità dell'impianto, il manuale deve riportare anche l'elenco delle singole valvole, dei sensori e dei singoli tubi con specificata la loro posizione all'interno del sistema. Di particolare importanza sono le caratteristiche dei tubi, componenti che possono essere soggetti a disfunzioni in prossimità dei raccordi di collegamento ai distributori. In caso di guasto l'azienda dovrà procedere rapidamente all'allestimento di un nuovo tubo nella propria officina, con le stesse caratteristiche dimensionali ed i raccordi del componente danneggiato.
Particolare attenzione viene prestata all'indicazione dei collegamenti fra tubi, pompe, motori idraulici, cilindri, girafiocco, distributori, serbatoio, e nel complesso di tutti i componenti che potrebbero essere smontati.

Durante la stagione invernale, infatti, le imbarcazioni sono soggette ad attività di controllo e manutenzione che possono richiedere un parziale smontaggio dell'impianto oleodinamico e dei suoi componenti. Ad esempio potrebbe essere necessaria la rimozione dei motori primi, dei cilindri, del girafiocco oppure dei motori elettrici.
Inoltre i componenti che contengono al loro interno guarnizioni ed elementi striscianti (cilindri e girafiocco) richiedono intervalli di manutenzione per la sostituzione dei componenti soggetti ad usura, richiedendo quindi lo smontaggio e la spedizione presso l'officina dell'azienda.
Molto importante è l'indicazione dei collegamenti fra l'unità centrale di controllo (plc) e la serie di valvole e sensori disposti lungo i componenti del sistema. Il manuale deve anche contenere lo schema di collegamento dei cablaggi e gli indirizzi dei segnali contenuti nel sistema di controllo. Infine, ma non meno importanti, l'indicazione dei componenti attivati durante lo svolgimento di ciascuna operazione e nelle differenti condizioni di utilizzo dell'imbarcazione, e la spiegazione delle informazioni riportate nelle pagine dello schermo che permette agli utenti di interfacciarsi col sistema di gestione dell'impianto.
Il manuale è suddiviso in otto capitoli, nell'ordine: elenco articoli, panoramica sistema, impianto idraulico, cilindri idraulici, pulsantiere, impianto elettrico, plc e logica, allegati. Di seguito è riportata una descrizione riassuntiva di ciascuno di essi

6.2.1 Elenco articoli

Il primo capitolo del manuale contiene l'elenco dei componenti che costituiscono l'impianto, ordinati secondo il loro codice identificativo. Questo consente ai tecnici una comprensione rapida di tutti gli elementi forniti dall'azienda. Infatti i cantieri navali si avvalgono spesso di più società per la realizzazione di un determinato impianto ed è quindi indispensabile evitare qualunque tipo di equivoco, associando una certa parte ad un produttore errato.
Le informazioni basilari dell'intero sistema vengono dunque condensate in poche pagine permettendo anche ad un neofita dell'impianto (per esempio ad un nuovo membro dell'equipaggio dell'imbarcazione o ad un tecnico che si trova ad operarvi per la prima volta) una facile comprensione del sistema.
La figura 6.1 riporta una pagina estratta dal primo capitolo del manuale. Per ciascun articolo sono riportati il codice identificativo, il nome completo del modello solido contenuto nella banca dati dell'azienda e una breve descrizione del componente con indicazione dei componenti d'acquisto se presenti.



Section 01 – ITEM LIST

01 – ITEM LIST

S/N	MODEL ID	FUNCTION
6273	CL 040 S 0400 15415	Outhaul cylinder CL 40 stroke 400
6274	CL 050 D 0420 15600	Lifting Propeller cylinder CL 50 stroke 420
6275	CL 035 S 0500 15400	Main Cunningham cylinder CL 35 stroke 500
6276	VNG 095 4140 15580	Vang cylinder pin to pin lenght close 4140
6277	CL 050 S 0400 15530	Gs cylinder CL 50 stroke 400
6280	CL 055 DS 2000 14393	Main Traveler CL 55 stroke 2000
6281	CL 025 D 0044 15810	Steering Float cylinder CL 25 stroke 44
6282	MAN 5CL 700 16250	Manifold 5 positions 700 bar for Main Cunningham - Deflector - Gs - Mast base
6283	MAN 2CL 700 15342	Manifold 2 positions 700 bar for Outhaul - Vang
6284	MAN 2CL 700 15342	Manifold 2 positions 700 bar for Car in out - Car up down
6285	MAN 3CL 700 16040	Manifold 3 positions 700 bar for J4 - Headstay - Jib Cunningham
6286	CL 070 S 0400 15540	J4 cylinder CL 70 stroke 400
6345	MD 090 0600 1570 15133	Runner Backstay Starboard Magic Double MD 90 4:1 stroke 1570 2:1 stroke 600
6346	MD 090 0600 1570 15133	Runner Backstay Port Magic Double MD 90 4:1 stroke 1570 2:1 stroke 600
6347	GS 023 A 15451	Main Engine Pumps Rexroth A4VG125 Hawe V60N-110 Hawe R 2.08-4.2 A
6348	ALT HYD A 15780	Generator Group Meccalte ECP-282L/2 Alternator Sunfab SCM-025W-H-142-K30-K3G-100 Pistons motor SUNFAB BM030400/91019-170 Flushing valve Rexroth HDD2L16PA20 Speed pick up
6349	PP A 15421	Electric Powerpack Lynch motor 200 5000 Hawe R 2.08-4.2 A Pump
6350	PP A 15421	Electric Powerpack Lynch motor 200 5000 Hawe R 2.08-4.2 A Pump
6351	MAN EVC A 18067	Manifold 11 positions for 6 winches Runner Backstay Port Runner Backstay Starboard Main Traveler - Water Maker - Water Pump
6352	MAN 2CL 700 15347	Manifold 2 positions 700 bar for Lifting Keel

(page 1/3)

CARIBONI S.r.l.
Via Mattei 3/A 20885 Ronco Briantino (MB) – ITALY
(+39) 039.6079609 (+39) 039.6079128
info@cariboni-italy.it www.caribuni-italy.com

7

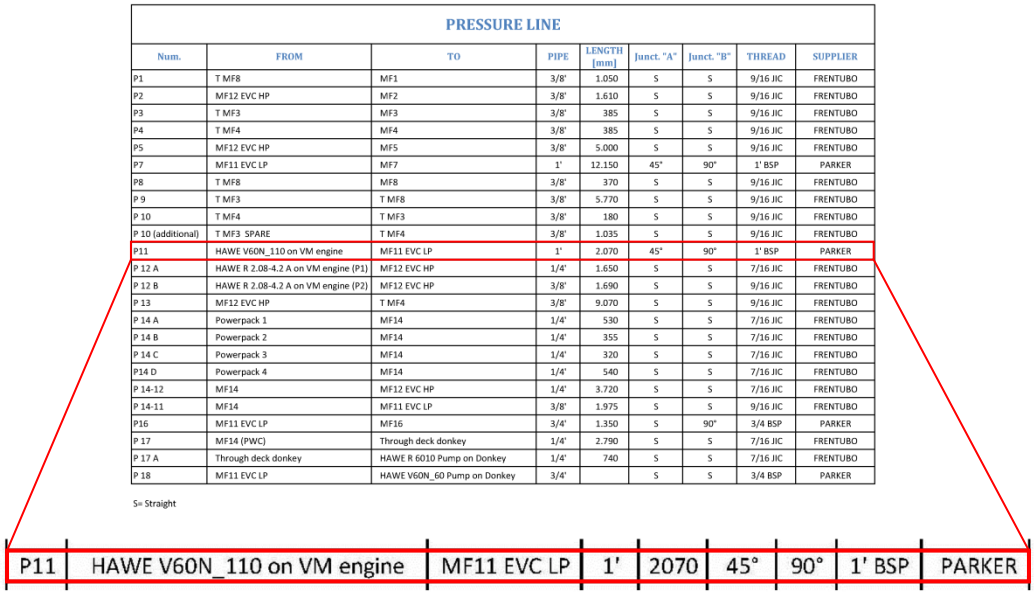
No.QA290890

6348	ALT HYD A 15780	Generator Group Meccalte ECP-282L/2 Alternator Sunfab SCM-025W-H-142-K30-K3G-100 Pistons motor SUNFAB BM030400/91019-170 Flushing valve Rexroth HDD2L16PA20 Speed pick up

Figura 6.1. Estratto di una pagina del primo capitolo del manuale. Come esempio sono state messe in evidenza le informazioni relative ad un articolo, nello specifico il gruppo di generazione dell'energia elettrica. Per ciascuno vengono indicati il codice identificativo, il nome completo del modello e l'elenco dei componenti d'acquisto con i relativi codici di prodotto.

6.2.2 Panoramica sistema

Il secondo capitolo riporta una schematizzazione dell'impianto e l'elenco completo delle valvole, dei sensori e dei tubi presenti. Questo è indispensabile per l'individuazione di ciascun componente e della sua posizione all'interno del sistema, soprattutto in caso di problemi di funzionamento. Una volta che l'impianto è installato a bordo della barca, a causa della sua estensione e del posizionamento di parte dei suoi componenti, risulterà di difficile accesso complicando notevolmente l'individuazione di possibili guasti, operazione già di per sé difficile e dispendiosa in termini di tempo. Un impianto non funzionante impedirà l'utilizzo dell'imbarcazione sottoponendo l'azienda al pagamento di un risarcimento nei confronti del cliente. Per questo motivo è fondamentale accelerare il più possibile le operazioni di ripristino del sistema e risulta quindi fondamentale fornire ai tecnici tutte le informazioni necessarie per agevolare il loro lavoro.
Nella figura seguente è riportata una tabella contenente le informazioni relative ai tubi di collegamento fra le pompe ed i distributori a cui vengono collegate le varie utenze. In particolare sono indicati: nome del tubo, componenti a cui è connesso, dimensione, lunghezza, tipi di raccordi e loro dimensioni, nome del produttore.



PRESSURE LINE

Num.	FROM	TO	PIPE	LENGTH [mm]	Junct. "A"	Junct. "B"	THREAD	SUPPLIER
P1	T MF8	MF1	3/8'	1.050	S	S	9/16 JIC	FRENTUBO
P2	MF12 EVC HP	MF2	3/8'	1.610	S	S	9/16 JIC	FRENTUBO
P3	T MF3	MF3	3/8'	385	S	S	9/16 JIC	FRENTUBO
P4	T MF4	MF4	3/8'	385	S	S	9/16 JIC	FRENTUBO
P5	MF12 EVC HP	MF5	3/8'	5.000	S	S	9/16 JIC	FRENTUBO
P7	MF11 EVC LP	MF7	1'	12.150	45°	90°	1' BSP	PARKER
P8	T MF8	MF8	3/8'	370	S	S	9/16 JIC	FRENTUBO
P 9	T MF3	T MF8	3/8'	5.770	S	S	9/16 JIC	FRENTUBO
P 10	T MF4	T MF3	3/8'	180	S	S	9/16 JIC	FRENTUBO
P 10 (additional)	T MF3 SPARE	T MF4	3/8'	1.035	S	S	9/16 JIC	FRENTUBO
P11	HAWE V60N_110 on VM engine	MF11 EVC LP	1'	2.070	45°	90°	1' BSP	PARKER
P 12 A	HAWE R 2.08-4.2 A on VM engine (P1)	MF12 EVC HP	1/4'	1.650	S	S	7/16 JIC	FRENTUBO
P 12 B	HAWE R 2.08-4.2 A on VM engine (P2)	MF12 EVC HP	3/8'	1.690	S	S	9/16 JIC	FRENTUBO
P 13	MF12 EVC HP	T MF4	3/8'	9.070	S	S	9/16 JIC	FRENTUBO
P 14 A	Powerpack 1	MF14	1/4'	530	S	S	7/16 JIC	FRENTUBO
P 14 B	Powerpack 2	MF14	1/4'	355	S	S	7/16 JIC	FRENTUBO
P 14 C	Powerpack 3	MF14	1/4'	320	S	S	7/16 JIC	FRENTUBO
P14 D	Powerpack 4	MF14	1/4'	540	S	S	7/16 JIC	FRENTUBO
P 14-12	MF14	MF12 EVC HP	1/4'	3.720	S	S	7/16 JIC	FRENTUBO
P 14-11	MF14	MF11 EVC LP	3/8'	1.975	S	S	9/16 JIC	FRENTUBO
P16	MF11 EVC LP	MF16	3/4'	1.350	S	90°	3/4 BSP	PARKER
P 17	MF14 (PWC)	Through deck donkey	1/4'	2.790	S	S	7/16 JIC	FRENTUBO
P 17 A	Through deck donkey	HAWE R 6010 Pump on Donkey	1/4'	740	S	S	7/16 JIC	FRENTUBO
P 18	MF11 EVC LP	HAWE V60N_60 Pump on Donkey	3/4'		S	S	3/4 BSP	PARKER

S= Straight

Figura 6.2. Elenco dei tubi di mandata dell'olio verso i distributori. Come esempio sono state messe in evidenza le informazioni relative al tubo di collegamento fra la pompa a pistoni assiali comandata dal motore endotermico principale ed il distributore della linea in "bassa pressione". Nello specifico vengono indicati:

numero identificativo del tubo, componenti di collegamento, diametro in pollici, lunghezza in millimetri, geometria dei raccordi, diametro e tipo di filettatura, nome del costruttore.

Queste informazioni sono indispensabili nel caso sia richiesta una rapida sostituzione di uno di essi, operazione che richiede il preventivo approvvigionamento dei componenti, il taglio del tubo con la giusta lunghezza, il serraggio dei raccordi alle estremità del tubo, la spedizione al porto in cui la barca è ormeggiata.

6.2.3 Impianto idraulico

I capitoli tre e quattro raccolgono una serie di informazioni dettagliate relative al collegamento fra tubi e componenti. Per ciascun distributore, identificato con una sigla riportata sul componente per facilitarne l'individuazione, sono indicate le dimensioni dei raccordi ed il tipo di filettatura, le linee dell'impianto oleodinamico ad esso collegate (linea di pressione, di ritorno, di drenaggio, di load sensing), le caratteristiche del tubo e dei relativi raccordi, il nome e la schematizzazione delle elettrovalvole presenti.

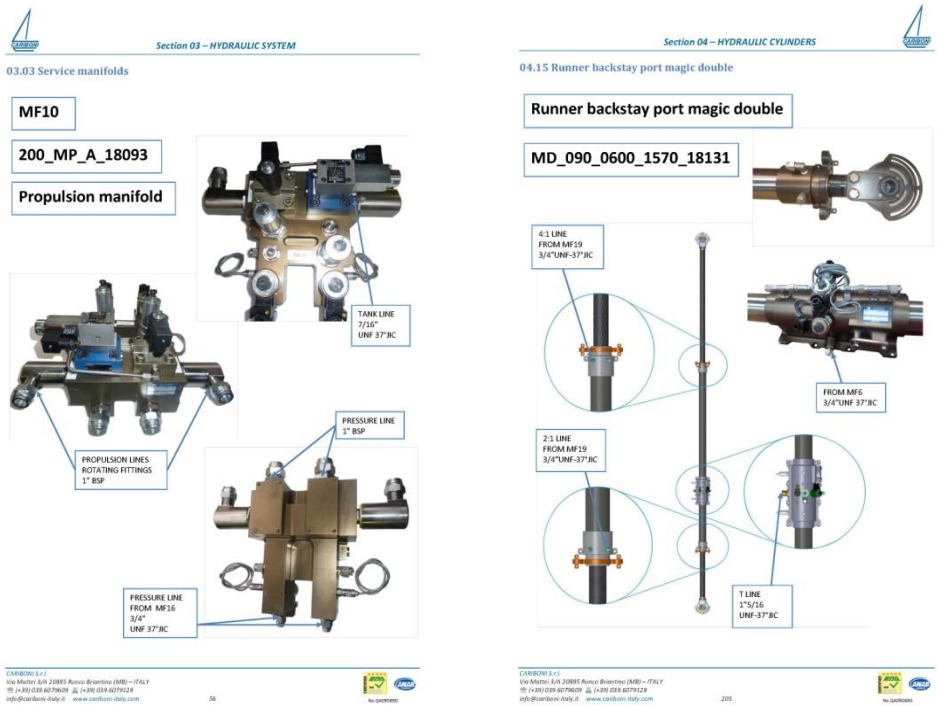

Section 03 – HYDRAULIC SYSTEM
03.03 Service manifolds
MF10
200_MP_A_18093
Propulsion manifold
TANK LINE 7/16" UNF 37°JIC
PRESSURE LINE 1" BSP
PROPULSION LINES ROTATING FITTINGS 1" BSP
PRESSURE LINE FROM MF16 3/4" UNF 37°JIC
Section 04 – HYDRAULIC CYLINDERS
04.15 Runner backstay port magic double
Runner backstay port magic double
MD_090_0600_1570_18131
4:1 LINE FROM MF19 3/4"UNF-37°JIC
FROM MF6 3/4"UNF 37°JIC
2:1 LINE FROM MF19 3/4"UNF-37°JIC
T LINE 1"5/16 UNF-37°JIC

Figura 6.3. Esempi di pagine dei capitoli tre e quattro del manuale.

Lo stesso è fatto per i restanti componenti presenti. I collegamenti di pompe, motori oleodinamici, scambiatore di calore, serbatoio e cilindri sono descritti nel dettaglio per facilitare le operazioni di montaggio. Per quanto riguarda gli attuatori sono indicate anche le caratteristiche prestazionali quali: corsa massima, carico massimo di lavoro alla pressione di funzionamento stabilita, carico di picco nella condizione di rottura della manovra, carico di rottura del componente, volume di olio richiesto. Inoltre viene spiegata nel dettaglio la procedura relativa allo spurgo dei cilindri, operazione che deve essere effettuata nella maniera corretta, pena un non perfetto funzionamento del componente.
L'abbondante uso di immagini e fotografie in questi capitoli serve a spiegare in maniera completa e dettagliata ogni singola parte dell'impianto senza possibilità di fraintendimenti.

6.2.4 Pulsantiere

Oltre alla progettazione ed alla realizzazione dell'intero impianto oleodinamico e del suo sistema di controllo, l'azienda ha provveduto alla fornitura di parte dei pulsanti di comando relativi alle funzioni oleodinaiche, e ad altre funzioni di differente tipologia gestite dal sistema informatico che mantiene sotto controllo l'intera imbarcazione. Il capitolo cinque ne riporta una descrizione completa ed i codici identificativi.
Alcuni comandi sono riprodotti in modo identico su entrambi i lati della barca, per agevolare l'intervento dell'equipaggio sia che la barca navighi sbandata su un lato o su quello opposto. I pulsanti, contraddistinti da differenti colori in base alle specifiche del cliente, sono posizionati su appositi pannelli precablati per facilitare le operazioni di montaggio e smontaggio degli stessi sul ponte dell'imbarcazione.
La figura 6.4 riporta i pannelli contenti i pulsanti che comandano le funzioni dell'intero impianto.

Figura 6.4. Alcuni dei pannelli contenti i pulsanti di comando del sistema.

6.2.5 Impianto elettrico

Il capitolo sei contiene tutte le informazioni riguardanti la parte elettrica dell'impianto. Nello specifico vengono indicate tutte le elettrovalvole ed i sensori montati sui componenti con il relativo indirizzo del segnale di ingresso o uscita all'unità centrale di controllo. Essa riceve in ingresso i segnali provenienti da 100 sensori e 89 pulsanti di comando delle funzioni, e deve generare in uscita 121 segnali di comando alle elettrovalvole e 5 segnali di attivazione di altrettanti indicatori luminosi relativi allo stato del sistema. Da questo si capisce come le dimensioni del sistema e la sua complessità richiedano una descrizione completa e dettagliata che sarà di fondamentale importanza per i tecnici che si occuperanno della sua gestione e manutenzione.
Il capitolo è suddiviso in tre parti. Nella prima parte è presente una descrizione dettagliata del collegamento dei cablaggi di ciascun componente, nella seconda parte è presente una descrizione dei collegamenti fra plc, espansioni, morsettiere, nella terza e ultima parte è riportato l'elenco completo dei segnali suddivisi in base alla propria tipologia ed alla posizione all'interno del sistema.

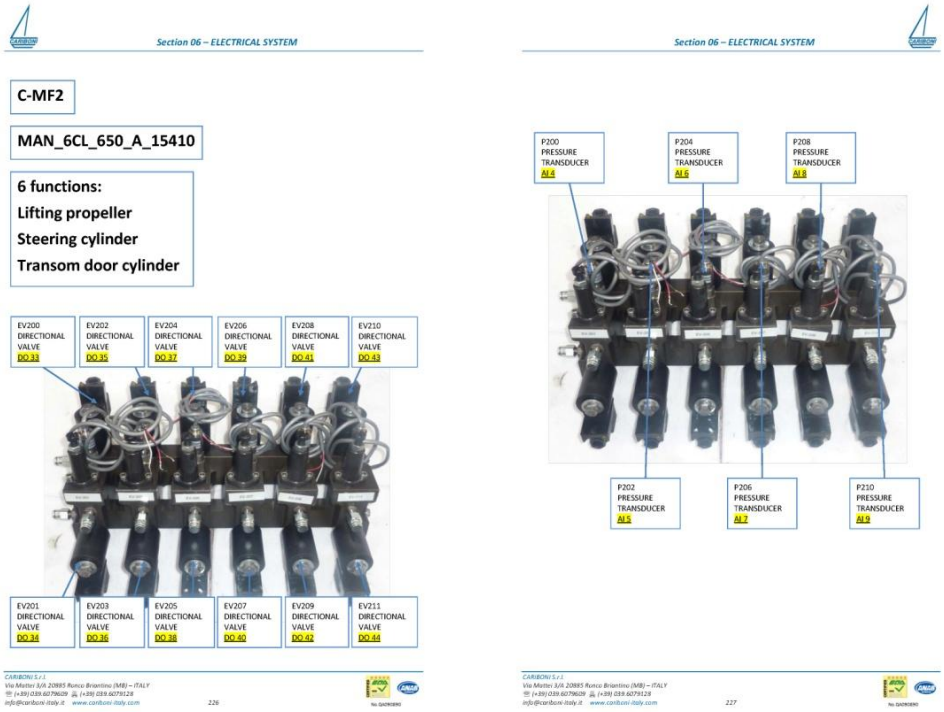

Section 06 – ELECTRICAL SYSTEM
C-MF2
MAN_6CL_650_A_15410
6 functions:
Lifting propeller
Steering cylinder
Transom door cylinder
EV200 DIRECTIONAL VALVE DO 33
EV202 DIRECTIONAL VALVE DO 35
EV204 DIRECTIONAL VALVE DO 37
EV206 DIRECTIONAL VALVE DO 39
EV208 DIRECTIONAL VALVE DO 41
EV210 DIRECTIONAL VALVE DO 43
EV201 DIRECTIONAL VALVE DO 34
EV203 DIRECTIONAL VALVE DO 36
EV205 DIRECTIONAL VALVE DO 38
EV207 DIRECTIONAL VALVE DO 40
EV209 DIRECTIONAL VALVE DO 42
EV211 DIRECTIONAL VALVE DO 44
226
Section 06 – ELECTRICAL SYSTEM
P200 PRESSURE TRANSDUCER AI 4
P204 PRESSURE TRANSDUCER AI 6
P208 PRESSURE TRANSDUCER AI 8
P202 PRESSURE TRANSDUCER AI 5
P206 PRESSURE TRANSDUCER AI 7
P210 PRESSURE TRANSDUCER AI 9
227

Figura 6.5. Esempi di pagine del sesto capitolo del manuale. Collegamenti elettrici di un distributore.

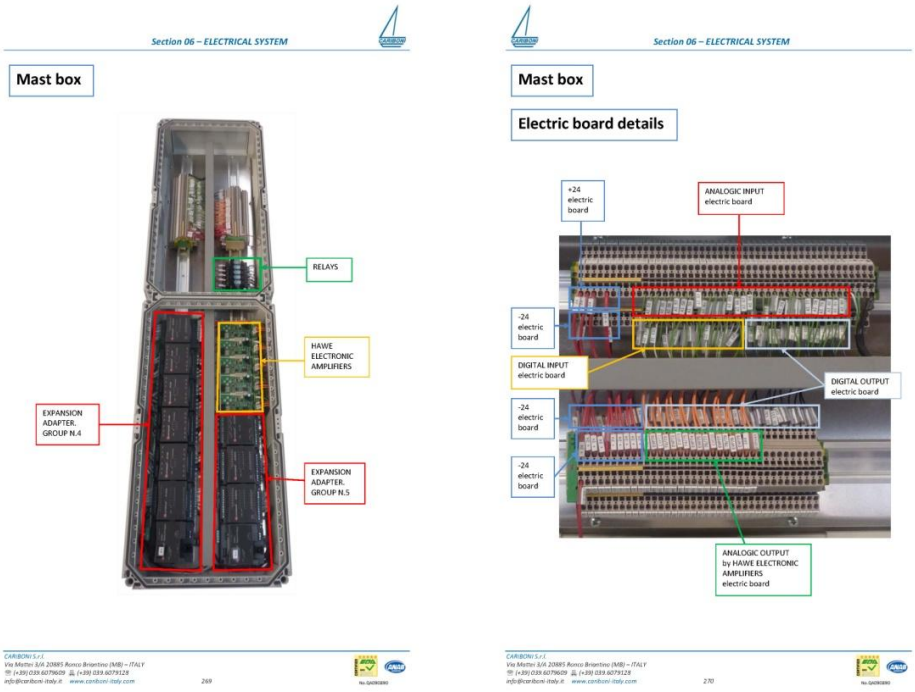
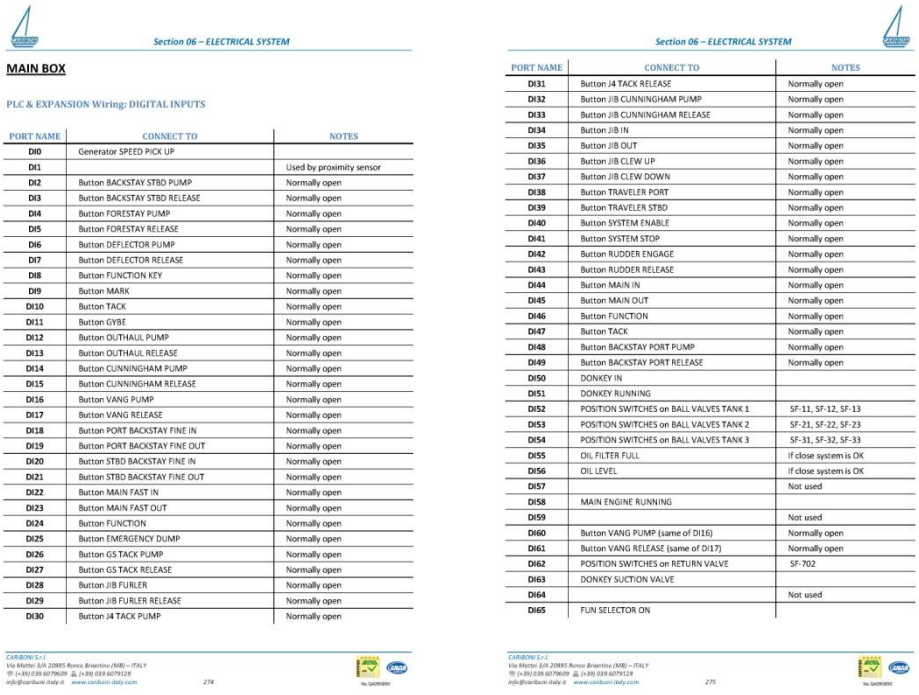


Figura 6.6. Esempi di pagine del sesto capitolo del manuale. Collegamenti elettrici della cassetta posizionata alla base dell'albero.



Section 06 – ELECTRICAL SYSTEM

MAIN BOX

PLC & EXPANSION Wiring: DIGITAL INPUTS

PORT NAME	CONNECT TO	NOTES
DI0	Generator SPEED PICK UP	
DI1		Used by proximity sensor
DI2	Button BACKSTAY STBD PUMP	Normally open
DI3	Button BACKSTAY STBD RELEASE	Normally open
DI4	Button FORESTAY PUMP	Normally open
DI5	Button FORESTAY RELEASE	Normally open
DI6	Button DEFLECTOR PUMP	Normally open
DI7	Button DEFLECTOR RELEASE	Normally open
DI8	Button FUNCTION KEY	Normally open
DI9	Button MARK	Normally open
DI10	Button TACK	Normally open
DI11	Button GYBE	Normally open
DI12	Button OUTHAUL PUMP	Normally open
DI13	Button OUTHAUL RELEASE	Normally open
DI14	Button CUNNINGHAM PUMP	Normally open
DI15	Button CUNNINGHAM RELEASE	Normally open
DI16	Button VANG PUMP	Normally open
DI17	Button VANG RELEASE	Normally open
DI18	Button PORT BACKSTAY FINE IN	Normally open
DI19	Button PORT BACKSTAY FINE OUT	Normally open
DI20	Button STBD BACKSTAY FINE IN	Normally open
DI21	Button STBD BACKSTAY FINE OUT	Normally open
DI22	Button MAIN FAST IN	Normally open
DI23	Button MAIN FAST OUT	Normally open
DI24	Button FUNCTION	Normally open
DI25	Button EMERGENCY DUMP	Normally open
DI26	Button GS TACK PUMP	Normally open
DI27	Button GS TACK RELEASE	Normally open
DI28	Button JIB FURLER	Normally open
DI29	Button JIB FURLER RELEASE	Normally open
DI30	Button J4 TACK PUMP	Normally open

Section 06 – ELECTRICAL SYSTEM

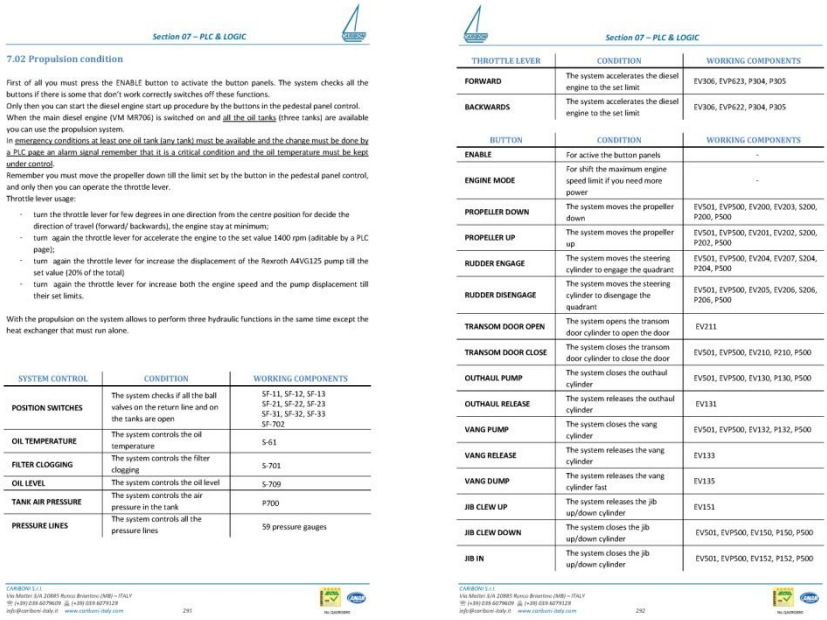
PORT NAME	CONNECT TO	NOTES
DI31	Button J4 TACK RELEASE	Normally open
DI32	Button JIB CUNNINGHAM PUMP	Normally open
DI33	Button JIB CUNNINGHAM RELEASE	Normally open
DI34	Button JIB IN	Normally open
DI35	Button JIB OUT	Normally open
DI36	Button JIB CLEW UP	Normally open
DI37	Button JIB CLEW DOWN	Normally open
DI38	Button TRAVELER PORT	Normally open
DI39	Button TRAVELER STBD	Normally open
DI40	Button SYSTEM ENABLE	Normally open
DI41	Button SYSTEM STOP	Normally open
DI42	Button RUDDER ENGAGE	Normally open
DI43	Button RUDDER RELEASE	Normally open
DI44	Button MAIN IN	Normally open
DI45	Button MAIN OUT	Normally open
DI46	Button FUNCTION	Normally open
DI47	Button TACK	Normally open
DI48	Button BACKSTAY PORT PUMP	Normally open
DI49	Button BACKSTAY PORT RELEASE	Normally open
DI50	DONKEY IN	
DI51	DONKEY RUNNING	
DI52	POSITION SWITCHES on BALL VALVES TANK 1	SF-11, SF-12, SF-13
DI53	POSITION SWITCHES on BALL VALVES TANK 2	SF-21, SF-22, SF-23
DI54	POSITION SWITCHES on BALL VALVES TANK 3	SF-31, SF-32, SF-33
DI55	OIL FILTER FULL	If close system is OK
DI56	OIL LEVEL	If close system is OK
DI57		Not used
DI58	MAIN ENGINE RUNNING	
DI59		Not used
DI60	Button VANG PUMP (same of DI16)	Normally open
DI61	Button VANG RELEASE (same of DI17)	Normally open
DI62	POSITION SWITCHES on RETURN VALVE	SF-702
DI63	DONKEY SUCTION VALVE	
DI64		Not used
DI65	FUN SELECTOR ON	

Figura 6.7. Esempi di pagine del capitolo sei del manuale. Elenco segnali di controllo.

6.2.6 Plc e logica di funzionamento

Nel capitolo sette è riportata una descrizione dettagliata delle modalità di funzionamento del sistema. Per una loro descrizione specifica si rimanda al capitolo 4.4.
Data la complessità dell'impianto, risulta di fondamentale importanza fornire all'equipaggio dell'imbarcazione tutte le informazioni relativi alle procedure necessarie alla messa in servizio del sistema, alle sue potenzialità ed anche ai suoi limiti. Nel capitolo vengono perciò descritte le modalità di funzionamento di ciascun componente e di ciascuna funzione presente nel sistema, secondo la logica definita in fase di sviluppo del progetto. Un'ottima conoscenza dell'impianto, oltre a garantire il massimo sfruttamento delle potenzialità da esso offerte, è fondamentale per poter mantenere il sistema sotto controllo e ridurre al minimo i possibili inconvenienti che si potrebbero verificare. Si capisce dunque l'importanza di riassumere in maniera chiara e precisa tutte le indicazioni di cui l'equipaggio della barca deve disporre per garantire quanto appena esposto.
Inoltre in caso di problemi al funzionamento del sistema è indispensabile fornire ai tecnici dell'azienda una descrizione dettagliata dell'esercizio dell'impianto per poter effettuare prove e collaudi necessari all'individuazione dei guasti ed alla loro risoluzione.
La seconda parte del capitolo contiene invece tutte le informazioni relative al funzionamento del controllore a logica programmabile (plc). Infatti questo dispositivo ha uno schermo che permette all'utente di interfacciarsi con l'unità di controllo dell'impianto. Le potenzialità del dispositivo sono molto ampie e vengono sfruttate per semplificare ed ottimizzare la gestione dell'intero sistema. Nello specifico le operazioni svolte riguardano la diagnostica delle principali cause di malfunzionamento dell'impianto, l'indicazione dello stato di ciascun segnale (attivo/non attivo), l'impostazione dei ritardi nell'intervento di alcune valvole, l'impostazione dei limiti di pressione relativi alle diverse velocità dei verricelli, l'impostazione della velocità di rotazione del motore endotermico principale nelle differenti condizioni di utilizzo dell'imbarcazione e per le differenti funzioni attivate, l'impostazione dei flussi attraverso le elettrovalvole a controllo proporzionale, la definizione dei limiti di temperatura dell'olio entro i quali è richiesta l'attivazione dello scambiatore di calore, l'impostazione dei limiti delle corse di alcuni cilindri, l'impostazione del campo di tolleranza sul numero di giri dell'alternatore, la possibilità di disinserire la protezione termica dei motori elettrici, l'impostazione della posizione superiore ed inferiore della chiglia, la definizione delle modalità di funzionamento dei Magic Double, e inoltre una

serie di informazioni riguardanti la pressione dell'olio nei diversi punti dell'impianto, la velocità di rotazione dell'alternatore, le posizioni degli steli dei cilindri.
Nelle figure seguenti sono riportate in qualità di esempio alcune delle schermate mostrate dall'unità di controllo.



Section 07 – PLC & LOGIC

7.02 Propulsion condition

First of all you must press the ENABLE button to activate the button panels. The system checks all the buttons if there is some that don't work correctly switches off these functions.
Only then you can start the diesel engine start up procedure by the buttons in the pedestal panel control.
When the main diesel engine (VM MR706) is switched on and all the oil tanks (three tanks) are available you can use the propulsion system.
In emergency conditions at least one oil tank (any tank) must be available and the change must be done by a PLC page an alarm signal remember that it is a critical condition and the oil temperature must be kept under control.
Remember you must move the propeller down till the limit set by the button in the pedestal panel control, and only then you can operate the throttle lever.
Throttle lever usage:

- turn the throttle lever for few degrees in one direction from the centre position for decide the direction of travel (forward/ backwards), the engine stay at minimum;
- turn again the throttle lever for accelerate the engine to the set value 1400 rpm (editable by a PLC page);
- turn again the throttle lever for increase the displacement of the Rexroth A4VG125 pump till the set value (20% of the total)
- turn again the throttle lever for increase both the engine speed and the pump displacement till their set limits.

With the propulsion on the system allows to perform three hydraulic functions in the same time except the heat exchanger that must run alone.

SYSTEM CONTROL	CONDITION	WORKING COMPONENTS
POSITION SWITCHES	The system checks if all the ball valves on the return line and on the tanks are open	SF-11, SF-12, SF-13 SF-21, SF-22, SF-23 SF-31, SF-32, SF-33 SF-702
OIL TEMPERATURE	The system controls the oil temperature	S-61
FILTER CLOGGING	The system controls the filter clogging	S-701
OIL LEVEL	The system controls the oil level	S-709
TANK AIR PRESSURE	The system controls the air pressure in the tank	P700
PRESSURE LINES	The system controls all the pressure lines	59 pressure gauges

291

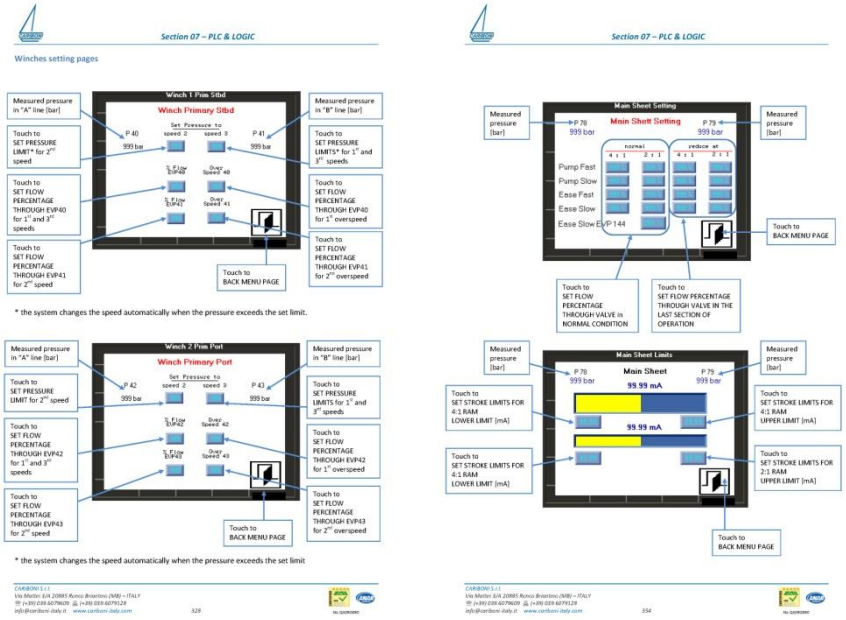
Section 07 – PLC & LOGIC

THROTTLE LEVER	CONDITION	WORKING COMPONENTS
FORWARD	The system accelerates the diesel engine to the set limit	EV306, EVP623, P304, P305
BACKWARDS	The system accelerates the diesel engine to the set limit	EV306, EVP622, P304, P305

BUTTON	CONDITION	WORKING COMPONENTS
ENABLE	For active the button panels	-
ENGINE MODE	For shift the maximum engine speed limit if you need more power	-
PROPELLER DOWN	The system moves the propeller down	EV501, EVP500, EV200, EV203, S200, P200, P500
PROPELLER UP	The system moves the propeller up	EV501, EVP500, EV201, EV202, S200, P202, P500
RUDDER ENGAGE	The system moves the steering cylinder to engage the quadrant	EV501, EVP500, EV204, EV207, S204, P204, P500
RUDDER DISENGAGE	The system moves the steering cylinder to disengage the quadrant	EV501, EVP500, EV205, EV206, S206, P206, P500
TRANSOM DOOR OPEN	The system opens the transom door cylinder to open the door	EV211
TRANSOM DOOR CLOSE	The system closes the transom door cylinder to close the door	EV501, EVP500, EV210, P210, P500
OUTHAUL PUMP	The system closes the outhaul cylinder	EV501, EVP500, EV130, P130, P500
OUTHAUL RELEASE	The system releases the outhaul cylinder	EV131
VANG PUMP	The system closes the vang cylinder	EV501, EVP500, EV132, P132, P500
VANG RELEASE	The system releases the vang cylinder	EV133
VANG DUMP	The system releases the vang cylinder fast	EV135
JIB CLEW UP	The system releases the jib up/down cylinder	EV151
JIB CLEW DOWN	The system closes the jib up/down cylinder	EV501, EVP500, EV150, P150, P500
JIB IN	The system closes the jib up/down cylinder	EV501, EVP500, EV152, P152, P500

292

Figura 6.8. Esempi di pagine del capitolo sette del manuale. Funzionamento sistema.



Section 07 – PLC & LOGIC

Winches setting pages

Winch 1 Prim Stbd
Winch Primary Stbd
Set Pressure to speed 2 / speed 3
P 40 999 bar
P 41 999 bar
% Flow EVP40
% Flow EVP41
Over Speed 40
Over Speed 41
Measured pressure in "A" line [bar]
Measured pressure in "B" line [bar]
Touch to SET PRESSURE LIMIT* for 2nd speed
Touch to SET FLOW PERCENTAGE THROUGH EVP40 for 1st and 3rd speeds
Touch to SET FLOW PERCENTAGE THROUGH EVP41 for 2nd speed
Touch to SET PRESSURE LIMITS* for 1st and 3rd speeds
Touch to SET FLOW PERCENTAGE THROUGH EVP40 for 1st overspeed
Touch to SET FLOW PERCENTAGE THROUGH EVP41 for 2nd overspeed
Touch to BACK MENU PAGE

* the system changes the speed automatically when the pressure exceeds the set limit.

Winch 2 Prim Port
Winch Primary Port
Set Pressure to speed 2 / speed 3
P 42 999 bar
P 43 999 bar
% Flow EVP42
% Flow EVP43
Over Speed 42
Over Speed 43
Measured pressure in "A" line [bar]
Measured pressure in "B" line [bar]
Touch to SET PRESSURE LIMIT for 2nd speed
Touch to SET FLOW PERCENTAGE THROUGH EVP42 for 1st and 3rd speeds
Touch to SET FLOW PERCENTAGE THROUGH EVP43 for 2nd speed
Touch to SET PRESSURE LIMITS for 1st and 3rd speeds
Touch to SET FLOW PERCENTAGE THROUGH EVP42 for 1st overspeed
Touch to SET FLOW PERCENTAGE THROUGH EVP43 for 2nd overspeed
Touch to BACK MENU PAGE

* the system changes the speed automatically when the pressure exceeds the set limit

328

Section 07 – PLC & LOGIC

Main Sheet Setting
Main Sheet Setting
P 78 999 bar
P 79 999 bar
normal
reduce at
4 : 1
2 : 1
Pump Fast
Pump Slow
Ease Fast
Ease Slow
Ease Slow EVP 144
Measured pressure [bar]
Touch to BACK MENU PAGE
Touch to SET FLOW PERCENTAGE THROUGH VALVE in NORMAL CONDITION
Touch to SET FLOW PERCENTAGE THROUGH VALVE IN THE LAST SECTION OF OPERATION

Main Sheet Limits
Main Sheet
99.99 mA
99.99 mA
Touch to SET STROKE LIMITS FOR 4:1 RAM LOWER LIMIT [mA]
Touch to SET STROKE LIMITS FOR 4:1 RAM UPPER LIMIT [mA]
Touch to SET STROKE LIMITS FOR 2:1 RAM LOWER LIMIT [mA]
Touch to SET STROKE LIMITS FOR 2:1 RAM UPPER LIMIT [mA]
Touch to BACK MENU PAGE

354

Figura 6.9. Esempi di pagine del capitolo sette del manuale. Interfaccia utente plc.

6.2.7 Allegati

Nell'ottavo ed ultimo capitolo vengono raccolte le schede tecniche relative ai componenti d'acquisto presenti nell'impianto. E' fondamentale poter risalire facilmente alle caratteristiche di questi componenti per poter intervenire rapidamente in caso di funzionamenti anomali e procedere alla loro riparazione o eventualmente alla sostituzione.
Elettrovalvole e sensori sono i componenti più delicati del sistema e possono stararsi nel caso subiscano urti o non vengono maneggiati con cura. E' quindi necessario poter risalire al componente specifico utilizzando la codifica definita dal costruttore. Da qui l'importanza di riportare in maniera completa i codici di tutti i componenti tramite i quali è inoltre possibile risalire alle loro caratteristiche. I componenti sono stati distinti per tipologia secondo in seguente ordine:

- sensori (di pressione, temperatura, livello, intasamento, posizione, velocità)
- pompe oleodinamiche (nell'impianto presenti cinque differenti tipologie)
- elettrovalvole
- motori elettrici
- alternatore
- motori oleodinamici (nell'impianto presenti sette differenti tipologie)
- pompa dell'acqua
- schede di amplificazione.

Infine il capitolo contiene una schematizzazione dettagliata dell'intero impianto e gli schemi dei collegamenti interni dell'unità plc.
Nel complesso il manuale è stato redatto seguendo gli standard dell'azienda, seguendo le indicazioni dei tecnici a cui esso è destinato ed introducendo dei miglioramenti laddove se ne è ritenuto necessario.

Conclusioni

Il presente lavoro si colloca nell'ambito della gestione delle manovre veliche e di una serie di servizi relativi ad un imbarcazione a vela da diporto di grosse dimensioni. Esso è parte di un progetto innovativo ed ambizioso in cui si è cercato di raggiungere il massimo livello di automazione di una barca sfruttando le potenzialità offerte dall'oleodinamica.

Il lavoro, interamente svolto in azienda, ha visto una prima fase di studio del progetto e dei componenti costituenti l'impianto, successivamente se ne è analizzato il funzionamento partecipando ai collaudi al banco di tutti i sistemi, attività che si sono protratte per un notevole lasso di tempo a causa della complessità del sistema. Solo a quel punto è stato possibile redigere il manuale di gestione dell'impianto, aggiornandolo di volta in volta in base alle modifiche apportate, alcune delle finali effettuate dopo la sua messa in servizio a seguito di ulteriori richieste del cliente.

Il manuale redatto in occasione di questo lavoro di tesi raccoglie quindi un gran numero di informazioni relative all'installazione, alla messa in servizio, al normale utilizzo ed alla risoluzione dei problemi relativi all'impianto in questione, informazioni che per quanto riguarda i prodotti realizzati in serie prevedono normalmente la stesura di differenti tipi di manuali (per esempio: manuale utente, di montaggio, dell'installatore, dell'operatore, di servizio).

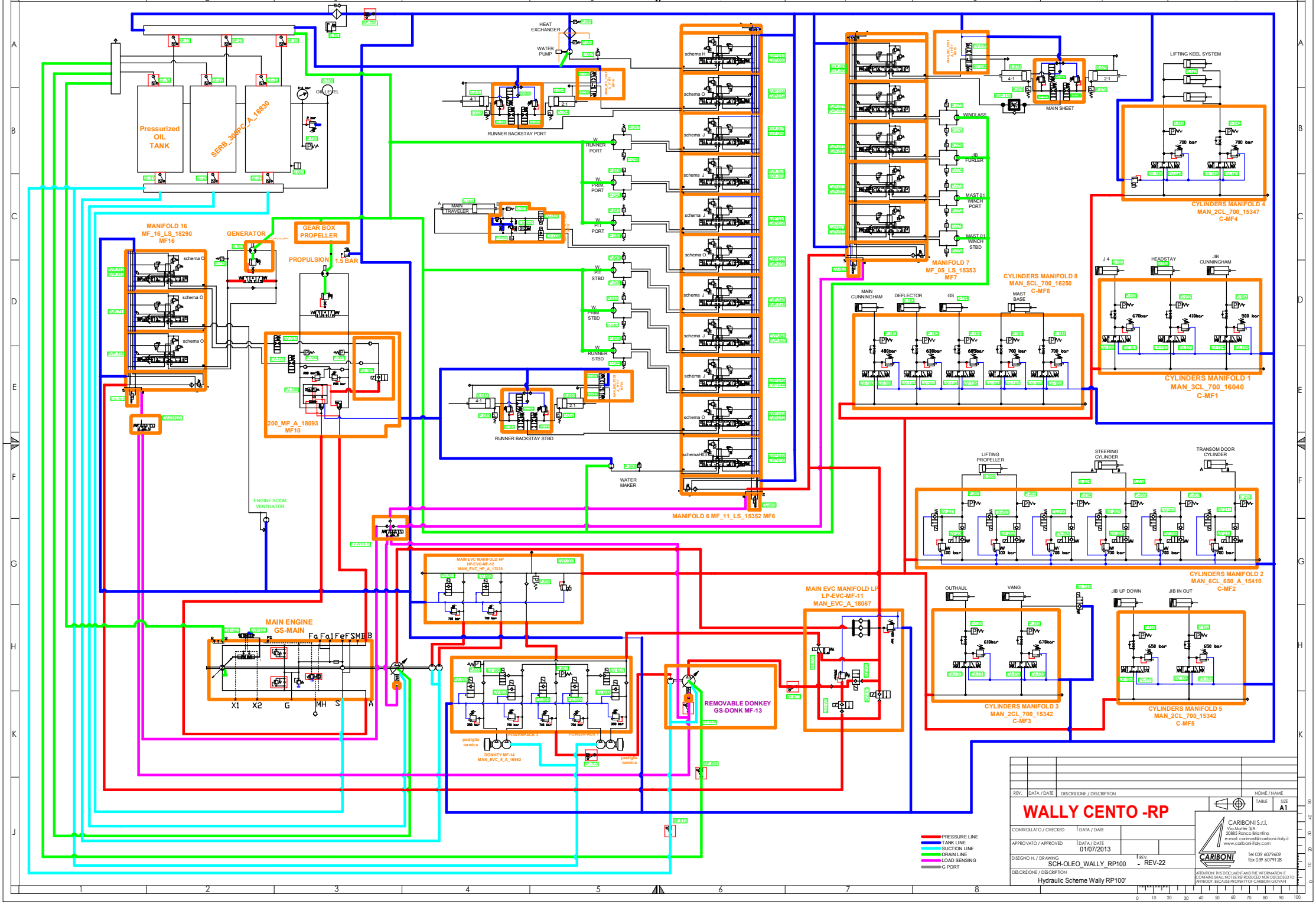
L'importanza di raccogliere tutte le informazioni relative al progetto e di renderle rapidamente disponibili a chi si trovasse ad averne bisogno è l'obiettivo principale del manuale di un qualsiasi manufatto.

Esso rappresenta uno strumento indispensabile alle persone che si troveranno ad utilizzare l'impianto ed ai tecnici che si occuperanno della sua messa in servizio, della sua ordinaria manutenzione e della risoluzione degli eventuali problemi che possono nascere durante il suo utilizzo. In esso sono raccolte tutte le informazioni riguardanti le modalità di funzionamento di tutti i sistemi che ne fanno parte, le loro principali caratteristiche, le modalità di collegamento dei vari dispositivi, i procedimenti per effettuare le regolazioni di una serie di parametri.

Inoltre l'azienda potrà usufruire di un agevole strumento contenente l'elenco completo dei componenti forniti al cliente, indispensabile per la fornitura di pezzi di ricambio e di pezzi danneggiati o malfunzionanti.

Allegati

Schema oleodinamico dell’impianto


Pressurized OIL TANK
SERB_308PC_A_16830
OIL LEVEL
HEAT EXCHANGER
WATER PUMP
RUNNER BACKSTAY PORT
RUNNER BACKSTAY STBD
MAIN TRAVELER
W. RUNNER PORT
W. PRIM. PORT
W. PIT PORT
W. PIT STBD
W. PRIM. STBD
W. RUNNER STBD
WATER MAKER
MANIFOLD 16
MF_16_LS_18290
MF16
GENERATOR
GEAR BOX PROPELLER
PROPULSION
1.5 BAR
200_MP_A_18093
MF10
ENGINE ROOM VENTILATOR
MANIFOLD 6 MF_11_LS_15352 MF6
MAIN ENGINE
GS-MAIN
X1
X2
G
MH
S
A
MAIN EVC MANIFOLD HP
HP-EVC-MF-12
MAN_EVC_HP_A_17228
MAIN EVC MANIFOLD LP
LP-EVC-MF-11
MAN_EVC_A_18067
REMOVABLE DONKEY
GS-DONK MF-13
DONKEY MF-14
MAN_EVC_6_A_16952
POWERPACK 2
POWERPACK 1
pastiglia termica
WINDLASS
JIB FURLER
MAST 01 WINCH PORT
MAST 01 WINCH STBD
MAIN SHEET
MANIFOLD 7
MF_05_LS_15353
MF7
CYLINDERS MANIFOLD 8
MAN_5CL_700_16250
C-MF8
MAIN CUNNINGHAM
DEFLECTOR
GS
MAST BASE
480bar
630bar
685bar
700 bar
LIFTING KEEL SYSTEM
CYLINDERS MANIFOLD 4
MAN_2CL_700_15347
C-MF4
J 4
HEADSTAY
JIB CUNNINGHAM
670bar
418bar
500 bar
CYLINDERS MANIFOLD 1
MAN_3CL_700_16040
C-MF1
LIFTING PROPELLER
STEERING CYLINDER
TRANSOM DOOR CYLINDER
CYLINDERS MANIFOLD 2
MAN_6CL_650_A_15410
C-MF2
OUTHAUL
VANG
619bar
678bar
CYLINDERS MANIFOLD 3
MAN_2CL_700_15342
C-MF3
JIB UP DOWN
JIB IN OUT
650 bar
CYLINDERS MANIFOLD 5
MAN_2CL_700_15342
C-MF5
PRESSURE LINE
TANK LINE
SUCTION LINE
DRAIN LINE
LOAD SENSING
G PORT
WALLY CENTO -RP
CARIBONI S.r.l.
Via Mattei 3/A
20865 Ronco Briantino
e-mail: carimast@cariboni-italy.it
www.cariboni-italy.com
Tel 039 6079609
fax 039 6079128
CONTROLLATO / CHECKED
APPROVATO / APPROVED
DATA / DATE
01/07/2013
DISEGNO N. / DRAWING
SCH-OLEO_WALLY_RP100
REV.
- REV-22
DESCRIZIONE / DESCRIPTION
Hydraulic Scheme Wally RP100'
NOME / NAME
TABLE
SIZE
A1
ATTENTION! THIS DOCUMENT AND THE INFORMATION IT CONTAINS SHALL NOT BE REPRODUCED NOR DISCLOSED TO ANYBODY, BECAUSE PROPERTY OF CARIBONI GIOVANI

Bibliografia

[1] Roger Marshall (1979), *Disegnato per vincere,* Mursia editore.

[2] Carl A. Marchaj (1987), *Aero-idrodinamica della vela. Analisi, interpretazioni dei dati e implicazioni pratiche*, Mursia editore.

[3] John Terry (1993), *Andare a vela*, Mursia editore.

[4] Ivar Dedekam (2012), *Tecniche di vela illustrate,* Editrice incontri nautici.

[5] Giorgio Diana, Fabio Fossati (2002), *Principi di funzionamento di un'imbarcazione a vela,* Schonenfeld&Ziegler.

[6] Dr. Ing. Hanno Speich, Dr. Ing. Aurelio Bucciarelli (1991), *L'oleodinamica – principi – componenti – circuiti,* Tecniche Nuove.

[7] Paolo Lodigiani (1998), *Introduzione al capire e progettare le barche,* B.C.A. – Demco Kit